1re Série. — 5e Année. — 4e Cahier. —

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848.

Octobre, Novembre et Décembre

1852

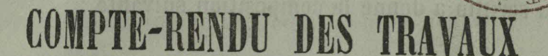


SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ, A PARIS
Rue Buffault, n° 26

TABLE DES MATIÈRES.

MÉMOIRES

ET



COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(Octobre, Novembre et Décembre 1852)

N° 19

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° Résistance à la traction des wagons à freins (Voir le résumé des séances, pages 193 à 204) ;

2° Emploi des plateaux-coussinets en fonte substitués aux traverses et coussinets ordinaires employés dans la construction des voies de fer (Voir le résumé des séances, page 204) ;

3° Discussion du mémoire de M. Love sur la résistance du fer et de la fonte (Voir le résumé des séances, pages 205 à 221) ;

4° Discussion du mémoire de M. Girard sur les chemins de fer hydrauliques (Voir le résumé des séances, pages 221 à 229 et 234 à 239) ;

5° Entretien de la voie du système Pouillet (Voir le résumé des séances, pages 131 à 133) ;

6° Communication d'un mémoire de M. Robert Rawilnson sur le drainage des villes (V. le résumé des séances, pages 243 à 249) ;

7° Révisions des statuts (Voir le résumé des séances, pages 250 à 253) ;

8° Situation financière de la Société (V. le résumé des séances, pages 255).

historique et critique des principales théories concernant l'équilibre des voûtes.

17° De la Société industrielle de Mulhouse, un exemplaire de son dernier Bulletin.

18° De M. Volland, membre de la Société, une notice sur la construction du pont de Ponthion.

Les membres nouvellement admis sont les suivants, savoir :

Au mois d'octobre :

MM. Crosnier, présenté par MM. Eug. Flachat, L. Yvert et Moreau.

Germain, présenté par MM. Petitgand, Huet et Geyler.

Barberot, présenté par MM. Eug. Flachat, Félix Tourneux et Lorentz.

Courtines, présenté par MM. Eug. Flachat, Barrault et Lorentz.

Richoux, présenté par MM. Eug. Flachat, Faure et Yvert.

Saint-James, présenté par MM. Vuigner, Yvert et Lepeudry.

Deniel, présenté par MM. Eug. Flachat, Félix Tourneux et Victor Bois.

Froyer, présenté par MM. Eug. Flachat, Lorentz et Barrault.

Buddicom, présenté par MM. Eug. Flachat, J. Petiet. et Edwards.

Decaux, présenté par MM. Championnière, Lorentz et Limet.

Leloup, présenté par MM. Huet, Geyler et Blanche.

Devers, présenté par MM. Huet, Geyler et Blanche.

Souchay, présenté par MM. Barrault, Lorentz et Romme

Au mois de décembre :

MM. Thouin, présenté par MM. J. Petiet, G. Loustau et Nozo.

Bonnet, présenté par MM. A. Barrault, Lorentz et Alquié.

Leuba, présenté par MM. Eug. Flachat, G. Loustau et Love.

Jacquesson Ernest, présenté par MM. E. Vuigner, G. Loustau et Faure.

Résumé des travaux de chaque séance pendant l'année 1851 (1).

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

Le président annonce à la Société que le *Journal des Chemins de fer* est chargé de reproduire, après chaque séance, le résumé des discussions. C'est un moyen de faire participer les membres qui habitent les départements aux travaux de la Société.

M. Thomas (Léonce) remet au président un numéro du *Moniteur industriel* du 16 février, qui a reproduit, d'après le *Journal des Chemins de fer*, sans en indiquer la source, deux notes lues dans la dernière séance de la Société. Il demande que le journal soit invité à indiquer à l'avenir l'origine des mémoires qu'il empruntera au compte-rendu des séances de la Société.

Le président répond qu'il sera fait droit à cette demande.

On passe ensuite à la discussion sur les ponts suspendus.

Le rapporteur, M. Vuigner, résume successivement les divers paragraphes du rapport de la commission chargée de rechercher les causes de la chute du pont suspendu de la Basse-Chaîne, à Angers.

M. Vuigner rappelle que la chute du pont d'Angers a ramené de nouveau l'attention publique sur les ponts suspendus, et l'administration supérieure s'est empressée de nommer une commission prise exclusivement dans le corps des ponts et chaussées et des mines pour étudier toutes les questions relatives à ce système de construction.

La *Société des Ingénieurs civils*, qui compte au nombre de ses membres des ingénieurs qui se sont occupés plus particulièrement de ces ouvrages d'art, et qui ont en conséquence le plus de pratique pour leur exécution, ne pouvait pas rester étrangère aux discussions de cette nature. Nous avons examiné toutes les questions qui se rattachent à l'établissement comme à l'entretien des ponts suspendus, et nous avons recherché les causes probables de la chute du pont d'Angers ; nous venons vous présenter le résultat de nos recherches et de nos observations.

Nous avons pensé qu'il était utile d'abord d'effleurer la question commerciale, ou, pour mieux dire, d'esquisser à longs traits l'historique des ponts suspendus, en indiquant le service que l'industrie privée a rendu au pays en propageant ce système de ponts ; qu'il y avait lieu, ensuite, d'étudier les questions techniques, mais seulement sous le rapport pratique, puis d'en déduire les causes de la chute du pont d'Angers, et, enfin, de parler de la

---

(1) A l'avenir le dernier Bulletin de chaque année contiendra la réimpression des résumés de chaque séance, afin de permettre aux nouveaux membres de consulter les travaux de la Société.

réglementation relative à la construction des ponts suspendus, à leur entretien et à leur exploitation.

Tel est l'ordre que nous suivrons.

HISTORIQUE, QUESTION COMMERCIALE.

Il faudrait remonter très haut pour indiquer l'origine des ponts suspendus ; bornons-nous à dire qu'on la trouve dans les ponts de corde des Cordillères, comme dans les ponts de chaînes de la Chine ou du Thibet ; que dans les guerres d'Italie, au moyen âge, les Suisses se servaient de ponts suspendus avec des cordes pour passer les torrents, et qu'un grand nombre de ponts supportés par des chaînes ont été construits depuis près de soixante ans dans les États-Unis de l'Amérique septentrionale.

L'application du principe de la suspension à la construction des ponts avait appelé l'attention des ingénieurs anglais dès 1810, et Telfort présenta, en 1813, le projet d'un très grand pont de ce genre à établir sur la Mersey, près Liverpool. Le même ingénieur rédigea un autre projet, en 1818, pour la construction d'un pont suspendu sur le bras de mer qui sépare l'Angleterre de l'île d'Anglesey ; mais les travaux de ce pont, commencés en 1820, n'ont guère été achevés qu'en 1824.

Le capitaine Brown est le premier qui ait construit en Angleterre un pont suspendu destiné à donner passage aux voitures. Cet ouvrage, situé sur le Twed, près du pont de Berwick, a été livré au public le 26 juillet 1820.

Peu de temps après, un ingénieur français, M. Brunel, qui avait été porter en Angleterre le fruit de ses études et de son imagination brillante, fit exécuter deux ponts suspendus, qui furent transportés à l'île Bourbon, pour donner passage à des voitures légères sur des cours d'eau qu'il y avait à franchir dans cette localité.

Depuis lors, un très grand nombre de ponts suspendus ont été construits en Angleterre, ainsi qu'en Écosse et en Irlande.

En France, un ingénieur des ponts et chaussées, M. Bélu, présenta, en 1807, le projet d'une arche suspendue, de 250 mètres d'ouverture, destinée à franchir l'un des bras du Rhin, entre Wesel et Rudrig ; mais ce projet ne fut pas mis à exécution.

MM. Seguin firent, en 1823, un essai qui réussit parfaitement, et, le 22 janvier 1824, ils obtinrent les premiers, en France, la concession d'un pont supendu en fil de fer, qui fut construit sur le Rhône, entre les villes de Taice et de Tournon.

Une autre concession de pont suspendu en fer forgé fut donnée, le 10 mai 1824, à une compagnie qui l'établit sur la Seine, à Paris, en face des Invalides.

En rendant compte, en 1823, des études qu'il avait faites en Angleterre sur la construction des ponts suspendus, Navier disait à M. le directeur général des ponts et chaussées que la construction de ces nouveaux ouvrages offrait un champ nouveau à l'art de l'ingénieur ; que, par l'emploi du principe de la suspension, cet art acquérait en effet des procédés plus économiques, plus faciles et plus étendus, pour l'établissement de nouvelles voies de communication ; que l'usage des constructions en chaînes de fer, en donnant les moyens d'établir à peu de frais des ponts solides et durables, ap-

porterait de nouvelles facilités pour exécuter ces ouvrages avec des fonds fournis par des compagnies et remboursés par des péages à terme, et qu'en conséquence, l'adoption de ces nouvelles constructions tendrait à favoriser l'application aux travaux publics du principe de l'association, élément important et fécond de la prospérité nationale.

Les prévisions de ce savant ingénieur se sont complétement réalisées depuis 1824. En effet, on a construit en France plus de trois cents ponts suspendus, et les neuf dixièmes de ces ponts ont été concédés à l'industrie privée, qui les a fait établir par ses ingénieurs.

Il serait très intéressant d'avoir une statistique complète de ces ponts, de comparer les dépenses faites pour les ponts construits par l'administration publique et celles faites pour les ponts construits par les associations industrielles, de rechercher les rapports des dépenses avec les produits, et d'établir enfin dans quels frais immenses le pays eût été entraîné si tous ces ponts avaient été construits dans le système des ponts fixes. Mais ces recherches sont en dehors du cadre que nous nous sommes proposé, et ce serait à l'administration supérieure, du reste, à faire dresser cette statistique, puisqu'elle a dans ses archives tous les éléments nécessaires pour l'établir avec exactitude.

Nous devons nous borner à indiquer que l'on peut, sans être taxé d'exagération, évaluer à 30 millions les dépenses faites pour la construction des ponts suspendus existant en France, et les produits, de 3 à 4 p. 100 de ce capital en moyenne. Si l'on avait fait construire ces ponts en pierre, la dépense se fût élevée bien certainement à 150 millions au minimum, parce que ces ponts ont été établis généralement sur des cours d'eau et dans des conditions qui présentaient les plus grandes difficultés.

Mais ce n'est pas seulement dans une économie d'argent que l'industrie des ponts suspendus a rendu des services au pays ; la facilité d'établir ces constructions à peu de frais a déterminé l'ouverture de routes départementales et de nouveaux chemins vicinaux, si nécessaires pour le développement comme pour la prospérité de l'agriculture et du commerce intérieur.

L'industrie des ponts suspendus a fait supprimer des bacs ou des gués sur des cours d'eau exposés à des crues subites, et où l'existence de ces passages dangereux donnait lieu chaque année à de graves accidents.

Est-ce sérieusement qu'on pourrait songer, comme certains ingénieurs en ont manifesté l'intention, à réduire à néant une industrie qui a rendu de si grands services? Evidemment non, car il reste beaucoup à faire encore, et son anéantissement deviendrait ainsi une mesure funeste au pays.

Et, en effet, lorsqu'on aura à franchir des cours d'eau dans des localités où la circulation ne peut être que très bornée, où des points d'appui dans le lit même devraient porter obstacle au mouvement de la navigation, où la distance à franchir sera considérable, et dans certaines autres circonstances déterminées, le principe de la suspension sera toujours appliqué avec succès sous toute espèce de rapports.

Mais pour développer de plus en plus l'industrie des ponts suspendus, il faut que l'administration publique vienne l'encourager, en la débarrassant de toutes les entraves qu'elle ne cesse d'apporter à la construction comme à l'exploitation de ces ponts.

Il faut, de son côté, que l'industrie privée n'établisse des ponts suspendus que dans les localités où ils sont applicables industriellement parlant ; il faut qu'elle profite de l'expérience, et qu'elle apporte dans leur établissement et leur entretien les conditions nécessaires pour les mettre à l'abri de toutes chances d'accident.

Nous verrons dans les chapitres suivants quelles sont les dispositions à prendre pour obtenir ces résultats.

Après avoir présenté quelques considérations générales, le rapporteur aborde la question technique.

QUESTIONS TECHNIQUES.

« Le principe de la suspension peut être appliqué de plusieurs manières différentes pour la construction des ponts : ainsi, des tiges inclinées partant de points fixes peuvent venir s'attacher à d'autres points, distribués sur la longueur du plancher ; ou bien des chaînes peuvent être tendues par des points fixes, et, dans ce cas, on fait reposer le plancher sur ces chaînes, ou on le suspend au dessous au moyen de tiges verticales. C'est cette dernière disposition qui a été généralement adoptée, et qui convient seule aux grands ouvrages.

Les ponts suspendus peuvent être à une ou plusieurs travées ; mais nous ne nous occuperons d'abord que des ponts à une seule travée, dans lesquels les deux culées servent à la fois de supports aux câbles et de points d'amarrage.

Les ponts que nous avons à considérer consistent dans un tablier suspendu par des tiges verticales à des chaînes plus ou moins tendues suivant des courbes paraboliques, et dont les extrémités sont attachées à des points fixes de part et d'autre de l'espace à franchir.

Comme les localités n'offrent pas généralement les moyens d'attacher les chaînes de suspension, on élève à cet effet des piliers ; et, pour empêcher leur déversement, on retient ces supports par d'autres chaînes, dites de retenue. On peut éviter la construction de ces piliers, souvent très coûteux, et toujours d'un aspect qui s'harmonise peu avec la légèreté du pont, en faisant passer les chaînes sur des supports ou bielles mobiles en fonte ; dans ce cas, les chaînes de suspension peuvent passer sur le sommet de ces bielles et venir s'amarrer directement dans les culées, ou bien les chaînes de suspension et les chaînes de retenue viennent s'attacher ensemble au sommet de ces supports mobiles.

Nous allons examiner successivement les conditions pratiques d'établissement de toutes les parties constitutives d'un pont suspendu construit dans les diverses conditions énoncées ci-dessus, et nous commencerons par les parties les plus simples. »

Au sujet de ce qui est dit dans ces considérations générales des *supports ou bielles mobiles*, un membre exprime l'opinion que l'on doit condamner l'emploi de ces moyens d'attache. Il attribue aux supports mobiles la chute du pont de la Basse-Chaîne à Angers, et pense que, malgré la perte de puissance qu'avaient éprouvée les câbles de suspension, le pont aurait résisté s'ils eussent été fixés à des piliers en maçonnerie. Il croit qu'un des fléaux,

enlevé par les oscillations imprimées au tablier, ne sera pas revenu à sa position normale et qu'il se sera rompu en retombant, ce qui a occasionné la chute du pont.

Il rappelle, à l'appui de l'opinion qu'il vient d'énoncer, que la plupart des cas de rupture ont été constatés sur des ponts pour lesquels on avait adopté ce système de fléaux ; il cite entre autres le pont de Brie, celui de Cavaillon et celui de Châteauneuf.

M. Vuigner, rapporteur, combat l'application au pont d'Angers des observations qui viennent d'être faites au sujet des supports mobiles. Les fléaux d'attache ne sont pour rien, suivant lui, dans le funeste accident dont la chute de ce pont a été la cause. Au moment où une partie des troupes était engagée sur le tablier, les hommes qui étaient demeurés sur la rive ont entendu un bruit sourd, comme celui d'un feu de peloton mal nourri, et c'est à la suite de ce bruit que le pont est tombé.

On doit donc en conclure que ce sont les câbles qui ont cédé successivement, et non pas la rupture de la bielle qui a amené celle des chaînes. M. Vuigner ajoute que le câble s'est rompu précisément au point où il se trouvait affaibli par l'oxydation des fils de fer.

Toutes les questions spéciales aux causes de la chute du pont d'Angers devant faire l'objet d'un examen particulier à la suite du rapport, M. Vuigner demande que, dans la discussion générale sur les principes de la construction des ponts suspendus, on réserve tout ce qui pourrait être relatif au pont de la Basse-Chaîne.

Cet ordre de discussion est adopté, et l'on passe à la discussion de la partie du rapport relative à la construction du tablier des ponts suspendus.

TABLIER.

« Le tablier d'un pont suspendu est composé de poutrelles ou pièces de pont reliées par des longrines ou longerons d'un premier plancher ou plattelage reposant sur les poutrelles ; d'un second plancher ou doublage, de garde-corps, et souvent de trottoirs spéciaux pour le passage des piétons.

POUTRELLES OU PIÈCES DE PONT.

Les poutrelles sont en général espacées également d'axe en axe, et elles sont soutenues vers leurs extrémités par des tiges verticales qui les relient aux chaînes de suspension. Cet espacement est inégal lorsqu'on veut distribuer les tiges verticales sur des longueurs égales de la courbe des chaînes de suspension, mais il est préférable de conserver l'égalité entre les distances des tiges verticales.

L'écartement entre les axes des poutrelles a varié jusqu'ici dans les limites de 1 à $1^{m},50$; l'écartement moyen, $1^{m},20$, paraît être le plus convenable.

Cette largeur, ou, pour mieux dire, l'espace compris entre les faces intérieures des garde-corps des tabliers ne peut pas être fixée arbitrairement ; elle doit être en rapport avec l'importance de la circulation présumée des piétons et des voitures. On a donné, au contraire, à beaucoup de ponts qui

sont dans des conditions de circulation tout à fait identiques, des largeurs différentes, variant dans les limites de 5 à 8^m; il y a évidemment, pour certains de ces ponts, augmentation en pure perte des frais de premier établissement, et une dépense annuelle d'entretien tout à fait anormale, qui absorbe une grande partie des avantages de la spéculation.

L'expérience a consacré des largeurs qui peuvent satisfaire à toutes les exigences d'un mouvement de voitures et de piétons sur un pont suspendu soumis au péage, et que l'on ne devrait pas dépasser dorénavant.

Ainsi, pour les ponts communaux, où la circulation est ordinairement restreinte, on peut se borner à une largeur de $4^m,20$, dont $2^m,40$ pour la voie charretière, et $1^m,80$ pour deux trottoirs de chacun 90 centimètres.

Pour un pont à construire sur une route départementale ou dans une ville secondaire où l'on ne doit compter que sur une circulation moyenne, une largeur de $5^m,50$ est suffisante; elle satisfait à la condition du croisement de deux voitures. Mais on n'établit pas de trottoirs dans ce cas; on place des bute-roues latéraux, pour former au besoin des garages pour les piétons.

Pour un pont à établir sur une route fréquentée, où l'on doit assurer la libre circulation des voitures et des piétons, il faut une largeur de 7 mètres, dont 5 mètres pour la voie charretière et 2 mètres pour deux trottoirs de 1 mètre chacun.

Dans ces diverses conditions, il suffit de relier les poutrelles aux chaînes de suspension seulement vers leurs extrémités, et l'on peut déterminer facilement leurs dimensions. Ces poutrelles peuvent être considérées, en effet, comme des pièces de bois placées sur deux appuis dont l'écartement serait égal à la largeur entre les tiges verticales, et qui auraient pour charge permanente le poids de tout le tablier compris entre deux entre-axes, et une surcharge de 5,000 kilog. entre les trottoirs pour les ponts à une voie, et de 10,000 kilog. entre les bute-roues ou les trottoirs pour les ponts à deux voies; les surcharges représentent le poids d'une voiture fortement chargée passant sur le pont à une voie, ou celle de deux voitures se croisant sur un pont à deux voies.

On obtient ainsi des dimensions que l'on peut même dépasser, parce que, comme nous le verrons ultérieurement, il y a beaucoup plus d'avantage à augmenter qu'à diminuer le poids total des tabliers des ponts suspendus.

Dans les largeurs ci-dessus indiquées, les poutrelles se font ordinairement en bois de chêne; mais pour les grandes portées il est préférable d'employer du sapin du Nord.

On n'obtient, en effet, souvent, dans le chêne, des pièces d'une longueur excédant 6 mètres, que dans des arbres vieux et dont le bois est cassant.

Le sapin du Nord, au contraire, comporte facilement de grandes dimensions, et, comme ses fibres sont très élastiques, il reprend naturellement sa forme première quand la force qui l'infléchit cesse d'agir.

On peut aussi, maintenant, lui faire subir une préparation qui lui assure une durée aussi longue que celle du chêne.

On a fait enfin des poutrelles en fer forgé ou même en tôle sous forme de tuyaux.

Le prix de revient des bois et des fers dans les localités où l'on opère doit évidemment guider le constructeur pour le choix à faire entre ces divers systèmes, en combinant bien ensemble les conditions de premier établissement avec celles d'entretien.

Quelle que soit la nature des poutrelles, il faut leur donner de la convexité à la surface supérieure pour obtenir à la surface des planches un bombement convenable qui assure transversalement l'écoulement des eaux de pluie.

La limite de 7 mètres que nous avons indiquée comme maxima pour les ponts suspendus à péage est suffisante pour une circulation très active. Ce qui s'est passé sur les ponts de Paris avant le rachat des concessions donne la preuve la plus convaincante de l'exactitude de cette assertion. — Mais si l'on voulait établir un pont suspendu avec circulation gratuite dans un grand centre de population, et où l'on devrait compter en conséquence sur une circulation plus active encore des voitures et des piétons, il faudrait augmenter cette largeur : dans ce cas, il ne suffirait pas de faire supporter les poutrelles à leurs extrémités ; il faudrait former trois plans de suspension, et le tablier du pont serait alors divisé en deux parties, l'une pour aller dans une direction, et l'autre pour aller en sens contraire.

On pourrait aussi, dans ce système, former les pièces des ponts en deux parties, pour éviter l'emploi de bois d'une grande longueur et faciliter leur remplacement en cas de réparation. Ces dispositions sont indispensables pour éviter les inconvénients qu'on rencontre dans le pont suspendu construit sur la Seine pour relier les boulevards extérieurs près des barrières de Bercy et de la Gare, où la largeur entre les points d'attache de certaines poutrelles est de 9 mètres au moins.

Les poutrelles ont $9^m,50$ de longueur ; elles sont formées de deux pièces de bois en moises ayant chacune $0,^m40$ de hauteur au milieu et $0^m,30$ aux extrémités, sur $0^m,10$ de largeur ; une aire en bois de $0^m,06$ d'épaisseur vient remplir l'intervalle qui les sépare sur les 2/3 environ de leur longueur. On les pose avec une convexité qui détermine un bombement de $0^m,10$; en moins d'un an cette convexité disparaît, et la courbe prend au contraire de la concavité.

Cette expérience de fait est un des motifs puissants pour ne pas dépasser, comme nous l'avons déjà dit, la limite de 7 mètres de largeur pour les ponts suspendus à péage. »

L'opinion exprimée dans le rapport au sujet de l'emploi d'un troisième cours de câble pour la suspension des ponts de plus de 7 mètres de largeur est l'objet de nombreuses observations.

Un membre combat le système recommandé dans le rapport, et croit que l'on ne doit employer trois cours de suspension que quand on donne au tablier une largeur de 11 à 12 mètres ; mais qu'au dessous de cette largeur, il ne faut employer que deux cours de suspension. Il dit qu'on peut très bien avoir des poutrelles rigides de 10 mètres de portée ; qu'il suffit pour cela de les armer. Il pense que le nombre des cours de suspension doit être déterminé par la circulation sur le pont ; que, si cette circulation est telle que trois voitures doivent s'y croiser, il ne faut pas mettre trois cours de suspension, car, dans ce cas, on supprimerait, de fait, une largeur de voie, et on n'en aurait plus que deux, l'une montante, l'autre descendante, de telle sorte

que, si une voiture vient à se rompre sur le pont, la circulation se trouve forcément interrompue dans un sens, et il ne reste plus de libre que le passage d'une seule voiture. De là cette conséquence, qu'on ne doit mettre trois cours de suspension que quand le pont est assez large (10 à 12 mètres) pour permettre à quatre voitures de s'y croiser, parce qu'alors on a un passage libre pour deux voitures dans un sens à droite des cours de suspension du milieu, et un autre aussi pour deux voitures, dans l'autre sens à gauche.

M. le rapporteur ne partage pas l'avis qui vient d'être exprimé. Il pense que, dans un pont de 7 mètres de largeur, il serait plus coûteux d'armer toutes les poutrelles pour leur donner de la rigidité, que d'employer un troisième cours de suspension. — La Commission a examiné cette question, et elle ne pense pas qu'au delà de 7 mètres, il soit prudent de n'employer que deux cours de suspension.

Un membre insiste sur la dépense qu'entraînerait l'armature des poutrelles pour les ponts de 8, 9 ou 10 mètres de largeur. Il croit qu'il est préférable, sous le rapport de la dépense, d'employer un troisième cours de suspension.

Un autre membre émet l'opinion que le nombre des cours de suspension ne doit pas être déterminé par la largeur du pont, ni par la circulation, mais bien par la portée du tablier et par le plus ou moins de rigidité qu'il est important de lui donner s'il doit être exposé à de fortes bourrasques, s'il est placé très haut au dessus des eaux, etc. C'est cette rigidité indispensable qui exige, en dehors de toutes les circonstances de largeur de pont et de circulation, que l'on emploie trois cours de suspension; tandis qu'avec la même largeur et la même circulation, il suffit, dans d'autres localités, d'avoir deux cours de suspension.

Un membre pense que, même au delà de 10 mètres de largeur pour les grandes portées, il suffit d'avoir deux cours de suspension, puisqu'on peut donner au tablier toute la rigidité désirable au moyen d'autres chaînes de suspension placées au dessous du tablier, diagonalement à l'axe du pont, et n'ayant que 1 mètre de flèche au maximum sur 50^m de portée, comme on l'a fait dans deux ponts suspendus construits récemment sur le Rhône, à Lyon. — On prévient ainsi tout à la fois les oscillations verticales et les oscillations horizontales.

L'un des préopinants répond que, malgré cette disposition, on ne pourra pas éviter les oscillations horizontales; que l'on avait placé des haubans sous le tablier du pont de Cavaillon, ce qui ne l'a pas empêché de tomber. Ils étaient, il est vrai, dans un plan horizontal; mais il ne croit pas qu'on puisse employer souvent des chaînes de suspension en dessous du tablier, parce qu'il faut leur donner une certaine flèche et que l'on est presque toujours gêné par la hauteur du tablier au dessus des eaux, laquelle est fixée par l'administration publique. En conséquence, il est d'avis qu'il vaut mieux mettre plusieurs parapets sur le pont, ce qui donne une grande rigidité au tablier sans gêner la circulation.

Un membre du bureau est d'avis que toutes les fois que le tablier est assez élevé au dessus des eaux, il faut toujours mettre en dessous un autre cours de suspension, disposé diagonalement à l'axe du pont.

Le rapporteur rappelle que la commission n'a pas admis une largeur de

plus de 7 mètres avec deux cours de suspension seulement; mais il croit qu'au delà de cette largeur, il y a d'autres conditions à remplir pour avoir dans le tablier une rigidité suffisante.

Un membre du bureau dit que le nombre des cours de suspension ne peut être fixé *a priori* d'une manière absolue; que tel système peut être bon quand on emploie des câbles en fil de fer, qui serait vicieux si l'on se servait de lames ou de barres pour composer la chaîne de suspension. Quand on a bien distribué le métal dans la composition de la chaîne (si l'on emploie le fer marchand), on peut atteindre de plus grandes portées et de plus grandes largeurs de pont avec plusieurs cours de suspensions qu'en étageant plusieurs chaînes les unes au dessous des autres, disposées suivant deux cours seulement, parce que, dans ce dernier cas, la dilatation ne se faisant pas de la même manière dans les divers étages de chaînes, celles qui sont en dessus doivent peser sur celles qui sont en dessous, et ce sont ces dernières qui en définitive portent toute la charge. C'est pour cette raison qu'on a donné quatre cours de suspension au pont de Menai, construit par M. Telford.

Ces dernières observations résumant les règles à suivre et les conditions à observer dans le choix des systèmes de suspension du tablier relativement à sa largeur et à sa portée, on passe au paragraphe suivant du rapport, consacré aux :

LONGRINES, LIERNES OU LONGERONS.

« Les poutrelles reçoivent plusieurs cours de longrines ou longerons qui servent à maintenir leur écartement, et sur lesquels sont établis les garde-corps et les trottoirs, lorsqu'il doit en exister sur les ponts.

Il est essentiel que ces longerons aient une grande longueur pour répartir la charge sur un très grand nombre de poutrelles et diminuer le nombre des assemblages. On les fait indifféremment jusqu'à présent en chêne ou en sapin; mais il est préférable d'employer le sapin, par des motifs semblables à ceux indiqués plus haut pour les poutrelles.

Dans les ponts à deux voies, il serait utile, en outre des longerons de garde-corps et de trottoirs, de placer sous les poutrelles, au milieu du tablier, deux cours de longrines qui tendraient encore à répartir le poids d'une charge accidentelle sur un plus grand nombre de poutrelles et à en prévenir la flexion. On diminuerait aussi les chances de leur rupture et les accidents qui peuvent en être la conséquence.

Si l'on construisait un pont d'une largeur excédant 7 mètres, et disposé comme nous l'avons indiqué ci-dessus, pour que les voitures aillent d'un côté dans un sens et reviennent par l'autre, il faudrait établir deux cours de longrines, une de chaque côté des tiges verticales de la suspension du milieu; elles auraient le double but de servir de bute-roues et de produire les effets dont nous avons parlé ci-dessus.

PREMIER PLANCHER OU PLATTELAGE.

Le premier plancher ou plattelage repose directement sur les poutrelles,

entre les longerons de trottoirs ou les longerons de garde-corps, quand il n'y a pas de trottoirs ; il est composé de plusieurs cours de madriers, qu'on espace de $0^m,03$ à $0^m,04$ pour faciliter l'écoulement des eaux et la circulation de l'air. Il faut donner à ces madriers une longueur suffisante pour reposer au moins sur quatre poutrelles et avoir le soin de faire chevaucher les joints. On répartit alors la charge sur une très grande surface.

Le bois de chêne est géneralement adopté pour ce premier plancher, parce que, dans les conditions où il est placé, il offre plus de garantie de durée que les bois des autres essences.

On a donné jusqu'ici à ces madriers une épaisseur variant dans les limites de $0^m,07$ à $0^m,10$; mais en donnant aux poutrelles un espacement moyen de $1^m,20$ on peut se borner à une épaisseur de $0^m,07$ à $0^m,08$.

SECOND PLANCHER OU DOUBLAGE.

Le second plancher ou doublage est formé avec des planches clouées sur les madriers du premier plancher. L'épaisseur de ces planches ne doit pas être moindre de $0^m,05$. On emploie diverses essences de bois, qui peuvent être classés, d'après la durée, dans l'ordre suivant :

Le mélèse,
Le pin résineux,
L'orme tortillard,
Le chêne,
Le sapin du Nord,
Le peuplier.

Les planches de cette dernière essence, dont le prix est peu élevé et qui offrent le plus de prise aux pieds des chevaux, sont assez en usage ; mais on obtient aussi de très bons résultats avec des planches en orme tortillard d'une faible largeur.

Le doublage est exposé continuellement aux intermittences de sécheresse et d'humidité ; il est soumis à l'action écrasante des roues de voitures fortement chargées et à l'action arrachante des pieds des chevaux : aussi la durée en est-elle très bornée, et exige-t-il un entretien journalier très considérable.

Des constructeurs ont fait divers essais pour prolonger cette durée ; mais les résultats obtenus jusqu'ici n'ont pas encore eu tout le succès désirable. Le meilleur parti à prendre, c'est de n'employer que des planches de faible largeur et de les placer en écharpe sous un angle de 45°, au lieu de les disposer perpendiculairement à l'axe du pont, comme on l'a fait jusqu'à présent. Les fibres du bois pour le même madrier présentant alors une plus grande longueur au piétinement des chevaux, et le bois en long résistant mieux à cette action, elles sont arrachées moins promptement. On peut aussi, en employant les essences de bois un peu spongieux, augmenter leur durée en les faisant préparer à l'avance au sulfate de cuivre ou au sulfate de fer combiné avec du sulfate de barium.

GARDE-CORPS.

Si les garde-corps des ponts suspendus ne devaient servir qu'à l'usage auquel ils paraissent destinés, on pourrait leur donner une très grande légèreté; mais, dans l'espèce, il faut obtenir un autre résultat.

Dans les ponts américains, ce sont les parapets qui supportent le tablier; il faut que, dans les ponts suspendus, les garde-corps soient disposés pour produire un effet semblable, c'est-à-dire qu'ils offrent une rigidité suffisante pour s'opposer à la flexion du plancher sous l'action d'une charge accidentelle, en reportant le poids de cette charge sur une plus grande longueur de plancher.

Ce n'est qu'ainsi qu'on peut prévenir les inflexions considérables que l'on remarque à certains ponts, et dont l'effet est de disloquer tous les assemblages des bois formant le tablier, d'augmenter d'une manière notable la traction sur le pont et de déterminer la prompte détérioration du doublage par l'excès d'efforts que les chevaux sont obligés d'y faire.

Pour atteindre ce but, il ne faut pas craindre de donner de la force aux pièces de bois qui doivent composer les garde-corps; il faut éviter avec soin l'emploi des pièces verticales, qui s'opposent au serrage des boulons, et disposer ces pièces en conséquence, de manière qu'elles ne forment entre elles que des triangles; il faut, enfin, placer les écrous des boulons de telle sorte qu'on puisse les resserrer facilement au besoin, lorsque, après un certain temps, les bois ont pris du jeu dans leurs assemblages. Si l'on n'avait pas cette précaution, les garde-corps perdraient bientôt leur influence primitive sur la rigidité du tablier.

TROTTOIRS.

On forme les trottoirs pour les piétons d'une manière toute simple, en clouant sur les longerons disposés à les recevoir des planches dans une direction normale à l'axe du pont; on emploie le plus ordinairement à cet effet des planches en chêne ou en sapin du Nord, de $0^m,03$ à $0^m,04$ d'épaisseur.

Pour les ponts où il n'y a pas de trottoirs, on avait songé d'abord à employer des bute-roues en fer forgé ou en fonte, qui venaient s'adapter dans leur partie supérieure à une pièce de garde-corps, et, dans leur partie inférieure, aux pièces de pont; mais on a bientôt renoncé à ce système, qui présente des inconvénients sous toutes espèces de rapports.

La disposition la plus convenable consiste à établir sur chaque rive un cours de longerons en dedans des tiges de suspension : ce longeron a le double avantage alors de former bute-roues dans toute la longueur du pont et d'augmenter la rigidité du tablier, comme nous l'avons indiqué à diverses reprises.

MOYENS A EMPLOYER POUR PRÉSERVER LE BOIS DES TABLIERS D'UNE PROMPTE DÉTÉRIORATION.

On ne saurait prendre trop de soins pour préserver le bois des tabliers

des ponts d'une prompte détérioration ; ce n'est qu'ainsi qu'on peut arriver à diminuer les dépenses d'entretien.

On donne ordinairement plusieurs couches de peintures aux bois des garde-corps, aux pièces de ponts et aux longerons, et l'on goudronne le bois des planchers et des trottoirs ; mais en général on n'apporte pas assez de surveillance dans ces travaux secondaires : ainsi le masticage avant la première couche de peinture n'est pas souvent assez complet ; les peintres se servent de peinture où l'huile est en trop faible proportion, et ils l'appliquent parfois sur des bois trop humides ; on emploie souvent aussi des goudrons composés de produits qui contiennent des matières plutôt nuisibles que conservatrices.

Les constructeurs devraient faire faire toutes les expériences nécessaires et exercer une surveillance suffisante pour éviter ces vices de construction.

D'un autre côté, on ne se préoccupe pas assez des assemblages des pièces de bois en contact. Il faudrait avoir le soin d'imprégner toutes ses surfaces avant la pose. Ce qui réussit le mieux à cet effet, c'est l'huile lithargée imprégnée à chaud.

Il y aurait certainement un grand avantage à faire préparer tous les bois de ponts suspendus au moyen des procédés en usage, et dont les plus efficaces sont le système Payn et le système Knab ; on retrouverait évidemment dans l'économie de dépense d'entretien la compensation des frais préparatoires, dont la dépense ne s'élève pas à plus de 10 fr. par stère de bois.

Il faut enfin, autant que possible, éviter l'altération dans la force des bois, déterminée par les percements de trous de boulons qui deviennent des foyers de détérioration. On obtient ce résultat en entourant les poutrelles, les longerons et les autres pièces, par des brides ou des étriers disposés pour être resserrés au besoin. »

Après avoir résumé le texte qui précède, M. le rapporteur explique que la commission est entrée dans tous ces détails pour ne rien omettre des conditions pratiques à observer dans la construction des ponts suspendus, et déduire ensuite plus sûrement, d'après l'examen du système de construction du pont d'Angers, si la chute de cet ouvrage doit être attribuée à une cause purement accidentelle et impossible à prévoir, ou à l'inobservation d'un des principes essentiels qui règlent ce mode de construction.

Un membre ajoute quelques considérations à l'appui de ce que vient de dire M. le rapporteur. Il est d'avis que la commission a parfaitement compris sa mission, et que la Société ne saurait trop rappeler aux constructeurs les principes dont ils s'écartent si souvent. Ainsi, il existe des ponts suspendus dont les garde-corps n'ont aucune rigidité, dont les poutrelles sont trop minces et trop flexibles, dont les trottoirs sont formés avec des longrines d'un équarrissage trop faible ; or il résulte de ce défaut de rigidité du tablier que les barres de suspension ont toutes successivement à supporter le mouvement des efforts produits par le passage des charges.

Le rapporteur est d'avis qu'il faut toujours placer sous le trottoir un second cours de longrines.

Un membre demande si la commission s'est préoccupée de la nature des bois à employer, et surtout de la question de savoir si l'on doit avoir recours à l'emploi des bois préparés pour obtenir une plus longue durée des ouvra-

ges. L'orateur pense que toutes les préparations que l'on fait subir au bois en vue d'augmenter sa durée lui ôtent une grande partie de sa force; qu'il ne faut pas compter, pour les bois soumis aux procédés de préservation, sur la même rigidité que quand ils ne sont pas préparés.

Un membre du bureau répond à cette observation que le rapport sur les ponts suspendus traite d'une manière générale la question de préparation des bois; mais que la question spéciale, avec toutes les expériences sur la solidité et l'élasticité des bois préparés, fait l'objet des études d'une commission nommée *ad hoc* dans l'une des précédentes séances.

M. le rapporteur reprend la lecture de son travail et passe à l'un des chapitres les plus importants, dont voici le texte :

CHAINES DE SUSPENSION, DE RETENUE, TIGES VERTICALES DE SUSPENSION.

Dans les ponts suspendus, les parties les plus essentielles, celles qui soutiennent le poids du plancher et des fardeaux auxquels ce plancher donne passage, se trouvent tendues dans le sens de la longueur. La solidité de l'édifice dépend ainsi de la résistance de ces pièces à l'extension. Les ponts dont il s'agit diffèrent essentiellement sous ce rapport des autres ponts, où les pièces principales ne sont jamais disposées qu'à fléchir ou à se contracter.

Les chaînes de suspension, les chaînes de retenue ou d'amarrage et les tiges des ponts suspendus doivent donc être construites avec des substances capables d'une grande résistance à la traction. On se sert uniquement à cet effet du fer pour les ponts que nous considérons; seulement on peut l'employer en barres, en fils ou en lames.

Quelques essais seulement ont été faits en lames superposées; mais les barres en fer forgé et le fil de fer ont été plus généralement adoptés pour la construction des ponts suspendus.

CHAINES DE SUSPENSION.

Nous avons dit que les ponts que nous avions à considérer consistaient en un tablier suspendu par des tiges verticales à des chaînes plus ou moins tendues.

Personne n'ignore que plus on emploie de force pour tendre les chaînes de suspension, moins il leur en reste pour supporter le tablier et les charges accidentelles qu'il est destiné à recevoir. Il paraîtrait résulter de ce fait qu'il est avantageux de ne tendre les chaînes de suspension que de manière à leur laisser former une courbe qui ait une très grande flèche; mais, comme les vibrations du pont, qui ne laissent pas que de présenter d'assez grands inconvénients sous toute espèce de rapports, augmentent rapidement avec cette flèche, il est important de la réduire dans des proportions telles qu'il y ait une balance convenable entre les avantages d'une faible tension et les inconvénients des vibrations considérables.

On sait que la flèche des chaînes de suspension est la distance verticale

entre le point le plus bas de la courbe parabolique et le point le plus haut, qui se trouve leur point d'attache ou d'inflexion.

L'ouverture des chaînes est le double de la distance horizontale du point le plus bas au point le plus haut.

C'est le rapport entre la flèche et l'ouverture qu'il est indispensable de déterminer d'une manière convenable. De ce rapport, en effet, dépendent l'amplitude des oscillations et les inflexions produites par une charge accidentelle sur le tablier du pont, comme nous l'avons indiqué déjà. Cette amplitude est proportionnelle à la flèche; mais, d'un autre côté, elle est réciproque à la largeur et au poids du tablier par mètre courant. Ainsi plus le tablier est lourd, moins l'effet produit par le passage d'une voiture est sensible, et plus alors le rapport de la flèche à l'ouverture peut être considérable; mais pour un pont d'une faible portée à une voie, au contraire, il faut que la flèche soit faible. Il est évident qu'on peut arriver ainsi à une limite telle, que l'augmentation de dimension des chaînes et des maçonneries du pont détermine une dépense qui absorbe l'économie de l'application du principe de la suspension, et c'est ce qui explique que ce principe n'est réellement applicable que pour franchir des cours d'eau d'une certaine largeur.

Le rapport entre la flèche et l'ouverture des chaînes peut varier entre 1/7 et 1/25; mais les rapports suivants sont ceux que l'on adopte ordinairement et qui conviennent le mieux pour contrebalancer les avantages et les inconvénients indiqués ci-dessus :

1/12 pour un pont d'une voie d'une faible portée;
1/10 pour un pont à deux voies sans trottoirs;
1/8 pour les ponts à deux voies avec trottoirs.

Nous avons indiqué qu'on employait, pour la suspension, du fer en barre, en fil ou en lame.

Dans l'origine de la construction des ponts suspendus en France, aucune limite n'avait été imposée pour le maximum d'effort à l'extension à faire supporter au fer; mais la chute de plusieurs ponts, déterminée soit par le fait de mauvaises dispositions, soit par le fait de l'emploi de matériaux défectueux, éveilla l'attention de l'administration supérieure.

Attribuant purement et simplement à un effet de traction supporté par le fer les accidents survenus, elle a cru qu'en restreignant l'effort de traction du fer dans des limites étroites elle préviendrait de nouveaux accidents. L'expérience ne tarda pas à démontrer le contraire, et l'administration supérieure reconnut qu'il y avait à considérer aussi les autres matériaux employés dans la construction des ponts suspendus, et que les limites trop restreintes qu'elle avait imposées apportaient des entraves à la propagation de ce système de construction. Elle revint alors sur ses premières déterminations, et elle s'arrêta définitivement aux maxima suivants :

18 kil.	par millim. carré	pour le fil de fer;
12 kil.	id.	pour le fer en barres;
12 kil.	id.	pour le fer en lames.

Ces résistances maxima s'appliquent non seulement aux chaînes de suspension, mais aux fers de chaînes d'amarrage ou de retenue et à ceux des tiges de suspension.

Ces limites uniques des efforts de traction à faire supporter au fer dans la construction de tous les ponts suspendus ne sont aucunement rationnelles, car la résistance absolue du fer est très variable, en raison de la qualité du minerai qui le compose, et du mode comme du plus ou moins de soins apportés à sa fabrication.

Cette servitude, imposée aux constructeurs d'une manière absolue, ne pouvait que produire des résultats autres que ceux que l'administration croyait en attendre. Les constructeurs n'ont aucun avantage, en effet, à rechercher la meilleure qualité du fer, et ils ont intérêt, au contraire, à se servir de celui qui est au plus bas prix. Aussi, depuis que l'administration a adopté les coefficients uniformes ci-dessus déterminés, emploie-t-on généralement, dans la construction des ponts suspendus, des fils de fer d'une qualité médiocre, d'une valeur de 50 à 55 fr. les 100 kil., mais dont la résistance absolue est à peine de 50 kil., au lieu de se servir, comme dans l'origine, de fils de fer de roche d'un prix de 70 fr. les 100 kil., dont la résistance absolue s'élevait jusqu'à 90 kil. On voit donc que les chances d'accidents ont plutôt été augmentées que diminuées par le fait des prescriptions trop absolues du gouvernement.

Il eût été plus rationnel évidemment de limiter l'effort de traction du fer employé dans les chaînes et les tiges des ponts suspendus à une fraction de sa résistance réelle et absolue; tous les ponts se seraient trouvés alors dans les mêmes conditions.

Les constructeurs auraient eu intérêt à employer les fers les plus résistants, et dans les forges on se serait étudié à augmenter leur ténacité.

La fraction convenable de la force réelle du fer à l'extension peut être déterminée d'une manière très simple : la condition à remplir, c'est que l'effort maximum ne puisse pas altérer la ténacité. Ainsi, par exemple, l'effort maximum auquel doivent résister les chaînes, lors de l'épreuve, ne doit pas produire sur elles un allongement sensible; et si, en admettant que les maçonneries n'aient pas éprouvé de mouvement, les chaînes ne reprenaient pas, après l'épreuve, leur position première, il y aurait altération notable et nuisible du fer, comme cela est arrivé sur quelques uns, et notamment pour un pont construit dans la vallée de la Marne. C'est ce qu'il faut éviter.

Les limites de 12 kil. pour les fers en barres et de 18 kil. pour les fils de fer ont été basées sur la résistance moyenne des fers dans ces deux conditions, et c'est le coefficient de 1/4 qu'on a voulu adopter; mais, en réalité, le coefficient, pour certains ponts, est resté au dessous du 1/3. Au pont de Fribourg, l'effort de traction a été porté à 30 kil. par millimètre carré : c'est le 1/3 de la résistance absolue à l'extension des fils de fer employés dans cette construction.

En Angleterre, on adopte généralement aussi le coefficient du tiers.

Au pont de Tournan, qui est construit depuis vingt-quatre ans, et où l'on n'a remarqué jusqu'ici aucune altération, les chaînes et les tiges en fil de fer ne supportent que le 1/4 de la charge qui en déterminerait la rupture.

On pourrait trouver que cette proportion est trop faible, en observant surtout que dans les constructions ordinaires on la porte au 1/3 et même à la 1/2 dans le bâtiment; mais il y a une différence notable entre l'effort que

supportent les fers dans les ponts et dans les maisons. Si l'essieu, par exemple, d'une lourde charrette, venait à se rompre sur un pont, le choc qui en résulterait produirait une force vive beaucoup plus dangereuse que la charge permanente supportée par les fers employés en tirants dans le bâtiment.

D'un autre côté, il faut tenir compte des défauts cachés qui peuvent se trouver dans les fers; et, pour les câbles notamment, il faut avoir égard à ces considérations diverses, que les brins peuvent n'être pas également tendus, et que ceux qui sont à la surface peuvent parfois subir une détérioration plus prompte que les autres.

Dans cette situation, nous pensons qu'il faut adopter le coefficient du 1/4 pour l'effort maximum à faire supporter aux fers des chaînes et des tiges des ponts suspendus.

La tension exercée sur le câble dépend de la largeur du pont, de l'ouverture et de la flèche de la chaîne, du poids de tout le système en suspension par mètre courant, et d'une surcharge sur le tablier, qu'on porte ordinairement à 200 kil. par mètre superficiel pour les ponts que nous considérons. Ces éléments servent à déterminer l'aire de ces chaînes, suivant qu'elles sont en barres, en fils ou en lames.

La surcharge de 200 kil. par mètre superficiel pourrait paraître faible, puisqu'elle ne représente guère que le poids d'autant d'hommes que le pont pourrait en contenir, en admettant trois hommes par mètre carré, et que ces hommes sont supposés immobiles; mais elle doit être suffisante en réduisant au 1/4 le coefficient de sécurité.

Pour les tiges verticales, il ne suffirait pas d'envisager seulement cette surcharge pour en déterminer les dimensions; il faut avoir égard, comme pour les poutrelles ou pièces de pont, à la condition du passage d'une voiture pesant 5,000 kil. sur le pont à une voie, et au croisement de deux voitures ayant chacune ce même poids pour le pont à deux voies. »

Ce chapitre donne lieu à une discussion, tant sous le rapport technique que sous celui du principe de la liberté absolue à laisser aux constructeurs, opposé au principe de la réglementation.

Un membre du bureau, répondant au passage du rapport relatif au coefficient de résistance des fers employés pour la suspension des ponts, exprime l'avis que le coefficient proposé par la commission ne doit pas plus être appliqué dans tous les cas que le coefficient actuel adopté par l'administration publique, sous peine de retomber dans tous les inconvénients de la réglementation, que l'on combat à si juste titre.

Les bons et les mauvais matériaux ne peuvent être soumis aux mêmes coefficients : tel fer pourra supporter un quart, un tiers et même une moitié de la charge de rupture; tandis qu'un autre fer n'en pourra supporter qu'un cinquième, un septième ou même un neuvième.

L'une des conséquences les plus fâcheuses de la réglementation a été, par exemple, de repousser et de rendre impossible l'emploi du fer marchand dans la construction des ponts suspendus, bien qu'il présentât plus que tout autre des garanties de résistance et surtout de conservation; mais avec les limites de résistance admises, sans égard à la qualité différente des matériaux, l'usage du fer marchand devenait trop dispendieux, ce qui y a fait renoncer.

Un autre point dont il importe également de tenir compte, et que le régime de la réglementation sacrifie, c'est la différence des systèmes de construction. Dans certains cas, en effet, tout le métal de la chaîne est affecté par les efforts de traction, comme dans le cas de l'emploi du fer marchand; tandis que dans d'autres une partie seulement supporte tous les efforts, comme lorsqu'on emploie le fil de fer. Il est donc irrationnel d'admettre, comme le propose la commission, pour tous les systèmes, le même coefficient. Pour rester dans le vrai, il serait indispensable d'en calculer de différents pour chaque qualité de matériaux et pour chaque système de construction.

En opposition au système de la réglementation, de ses embarras, de ses difficultés et de ses inconvénients, l'opinant fait ressortir les avantages qui résultent pour l'Angleterre d'avoir laissé sur ce point une liberté absolue aux constructeurs. Les règles fixes ont toujours et partout le même inconvénient, celui d'être irrationnelles et de conduire précisément à un but tout opposé à celui que l'on avait eu en vue en les adoptant.

La commission aurait donc dû exposer et examiner dans son rapport :

1° La question de la liberté absolue laissée aux constructeurs quant aux efforts à faire supporter à leurs chaînes ;

2° Celle des moyens d'essais et de la détermination des coefficients, variables suivant les circonstances, les matériaux et les systèmes de construction ;

3° Celle de la réglementation actuelle.

Si la commission eût procédé ainsi, il n'est pas douteux qu'elle eût été conduite, par la force des choses et par la logique, à conclure d'une manière formelle en faveur du système de liberté complète, ayant pour sanction, comme en Angleterre, la responsabilité des entrepreneurs.

Un membre appuie les observations du préopinant. Il trouve que la fixation d'un coefficient absolu est, dans tous les cas, irrationnelle, qu'il s'agisse du tiers, du quart ou du cinquième. Si l'on suppose le tiers, qui est le chiffre de la commission, on verra qu'un fer résistant à 30 kilog. ne donnera que 20 kilog. pour les chances d'accident, tandis qu'un fer d'une bien meilleure qualité qui résiste à 60 kilog. donnera le double ou 40 kilog. pour les chances d'accidents. Mais, sur ces 40 kilog., il y en aura 20 de perdus pour l'entrepreneur dans le cas de la réglementation, et dès lors il continuera à y avoir un avantage notable pour lui à employer du fer d'une qualité inférieure.

Un membre dit que, lorsqu'on soumet du fer à des efforts de traction, il y a lieu d'observer trois périodes bien distinctes. Dans la première, le fer s'allonge d'une certaine quantité, et quand on le décharge il reprend sa longueur primitive; dans la seconde, quand la charge augmente au delà du premier point, le fer s'allonge davantage que la première fois, revient encore sur lui-même, mais ne reprend plus sa longueur primitive; dans la troisième, enfin, il s'allonge encore plus, sans se rompre il est vrai, mais il ne revient plus sur lui-même; au delà de ce point il y a rupture. La conclusion à tirer de ces faits est qu'il ne faut jamais faire supporter au métal plus que le 1/4 du poids qui produit l'allongement total.

M. le rapporteur répond aux différentes observations qui précèdent, et dit qu'en Angleterre, en Allemagne et au pont de Fribourg, on a admis que

le fer pouvait supporter le 1/3 de la charge de rupture ; qu'il ne faut pas oublier que nous sommes en France, où le régime de la réglementation est en vigueur, et que, ne pouvant s'y soustraire, il faut seulement chercher les moyens de l'améliorer en l'éclairant.

Un membre, revenant sur l'observation précédemment faite au sujet de l'élasticité du fer, soutient que la limite de cette élasticité n'est pas constante ; qu'elle varie au contraire suivant la qualité du métal, et que, dès lors, le coefficient cherché ne devrait pas être une fraction déterminée de la charge de rupture, mais bien une fraction de la charge qui donne la limite de l'élasticité du fer.

Un autre membre rappelle qu'il y a des fers pour lesquels la limite d'élasticité est très éloignée du point de rupture, tandis que pour d'autres elle est très rapprochée. Il croit donc qu'il serait très dangereux d'adopter un coefficient qui fût une fraction du poids produisant la limite d'élasticité, plutôt que celle du poids de rupture ; car pour une faible surcharge accidentelle on pourrait, dans certains cas, causer la chute d'un pont. Il demande comment, dans le cas de la liberté absolue, on pourrait garantir la sécurité publique.

Un membre répond qu'en Angleterre on fait des essais, et qu'on admet pour épreuve une charge de 5 à 600 kilog. par mètre carré de tablier.

Un membre de la commission fait observer que celle-ci a cherché à mettre tous les ponts suspendus dans des conditions générales, et surtout à encourager les constructeurs à employer les meilleurs fers possibles.

Un membre fait observer que, d'après les recherches faites par les commissaires anglais sur la résistance des matériaux, on est arrivé à des résultats qui ne permettent pas d'admettre un coefficient quelconque, car l'écrasement des fontes a varié entre une charge de 40 kilog. et une de 110 par millimètre carré, et que la rupture à la traction a varié entre $8^k.7$ et $18^k.7$.

On a construit en Angleterre beaucoup de ponts avec des poutres en fonte, relevées aux extrémités et armées avec des tirants en fer.

Beaucoup de ponts construits dans le Nord, là où la fonte est de qualité médiocre, se sont rompus, celui de Chester entre autres ; tandis qu'on n'a pas eu à constater de rupture dans le Sud, où l'on emploie d'excellentes fontes venant des usines du Staffordshire.

Le membre se déclare partisan de la liberté absolue sous ce rapport. Il pense que c'est justement parce qu'en France la réglementation est poussée jusqu'aux dernières limites, qu'il faut en parler et en signaler les inconvénients.

Il ajoute qu'avec cette réglementation on n'aurait pu construire en France le pont tubulaire de Menai.—En effet, dans cette occasion, les ingénieurs anglais ont reconnu, après de nombreux essais, que les conditions de solidité à réunir dans la construction d'un pont varient essentiellement selon que le poids du pont se rapproche ou diffère beaucoup de la charge qu'il doit supporter.

Ainsi, il est admis en principe que, dans les cas où le poids du pont est très petit par rapport à la charge, il faut prendre cette charge comme élément simple et y ajouter le poids du pont multiplié par le coefficient de rupture.

Mais si, au contraire, le poids du pont est très grand par rapport à la charge, c'est le poids du pont qu'il faut prendre comme élément simple, et y ajouter la charge multipliée par le coefficient de rupture.

Si l'on avait été obligé de soumettre dans ce cas le pont tubulaire de Menai à la réglementation actuellement en usage en France, il aurait fallu faire la somme du poids du pont et celle de la charge, et multiplier le tout par le coefficient de rupture; ce qui aurait donné un poids si énorme et une dépense tellement considérable qu'il eût fallu renoncer entièrement à entreprendre un travail aussi intéressant au point de vue de l'art qu'important pour les communications du pays.

Il est décidé, à la suite de cette discussion, que le rapport de la commission sera modifié en ce sens que les trois points de vue: de la liberté absolue, de la réglementation actuelle, et des réformes qu'il importe d'y introduire, si l'on ne peut la supprimer entièrement, seront l'objet de nouveaux développements, conçus dans l'esprit qui a prévalu dans le cours de la discussion.

SEANCE DU 7 MARS 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

M. YVON VILLARCEAU remet un mémoire en deux parties sur la théorie de la stabilité des machines locomotives en mouvement. Il a la parole pour indiquer les résultats auxquels il est parvenu.

Il rappelle que dans la séance du 7 février il a énoncé quelques unes des conséquences auxquelles l'avait conduit sa théorie sur la stabilité des machines locomotives en mouvement, en les supposant non couplées.

Il a reconnu :

1° Qu'en supposant le bouton de la manivelle fixe et le poids du piston appliqué à l'extrémité libre de la bielle qui reçoit la tête de ce piston, le système de la bielle et du piston doit être en équilibre dans toutes les positions, ce qui ne peut avoir lieu que si l'on prolonge la bielle du côté de la manivelle et si l'on applique sur ce prolongement un contre-poids ;

2° Que les masses des manivelles ou des bielles d'accouplement doivent satisfaire à des conditions déterminées par une équation qui comprend particulièrement les distances des plans du mouvement des centres de gravité des pièces mobiles ;

3° Que les contre-poids, ainsi que les angles correspondants des roues, autres que la roue motrice, peuvent généralement se déterminer indépendamment de celui de cette dernière;

4° Que le contre-poids de la roue motrice et son angle correspondant doivent satisfaire à deux équations de condition ;

5° Enfin, qu'il reste deux inégalités de second ordre dans le mouvement de galop, qui sont proportionnelles, l'une au carré de la vitesse, l'autre à la variation de la vitesse elle-même, et que l'on ne peut détruire dans le système actuel des machines locomotives. La première ne peut jamais être détruite; la seconde ne pourrait l'être, quelle que soit la variation de la vitesse, que par un abaissement du centre de gravité de la machine, ce qui est difficile, sinon impossible à réaliser. Cette dernière inégalité disparaît quand la vitesse est constante, c'est-à-dire qu'elle dépend essentiellement des modifications qu'on apportera dans la distribution de la vapeur.

M. Yvon, passant ensuite en revue les divers systèmes de machines, et déduisant pour chacun d'eux les conséquences de sa théorie, dit que :

1° Dans les machines non couplées à cylindres intérieurs, le plan des contre-poids doit coïncider avec celui qui contient les centres de gravité des bielles, des manivelles et des pistons. Il faut donc décomposer chaque contre-poids en deux, disposés de telle sorte que leur centre de gravité soit situé dans le plan indiqué ci-dessus. Si les machines non couplées ont leur cylindres extérieurs, il faut alors que le centre de gravité du contre-poids soit sur le prolongement de la manivelle, et il faut, dans les deux cas, que, le poids du piston et celui de la bielle transportés au bouton de la manivelle, la roue motrice armée de son contre-poids soit en équilibre autour de son axe dans toutes les positions du système. Il reste cependant une condition impossible à remplir pour l'équilibre dans ce premier cas.

2° Dans les machines à quatre roues couplées, la roue motrice étant au milieu, si l'on couple les deux roues d'arrière, le centre de gravité du contre-poids de la roue d'arrière doit être situé à l'opposé de la manivelle motrice; les contre-poids de la roue motrice et celui de la roue d'arrière doivent être opposées à la manivelle principale, et la somme des moments de ces contre-poids doit faire équilibre aux bielles, pistons, etc.

Si, au contraire, ce sont les roues d'avant qui sont couplées, le centre de gravité du contre-poids de la roue d'avant doit être dans la direction même de la manivelle, et non plus à l'opposé comme précédemment; celui du contre-poids de la roue motrice doit être placé à l'opposé de la manivelle; de plus, le contre-poids de la roue motrice doit être beaucoup plus fort que quand ce sont les roues d'arrière qui sont couplées.

Il faudrait donc en conclure qu'il vaut mieux coupler les roues d'arrière que les roues d'avant.

3° Dans les machines à six roues couplées, le problème est indéterminé relativement à la distribution des contre-poids. Si l'on se propose de rendre minima la somme des moments des contre-poids des roues d'avant et d'arrière, il faut que le contre-poids de la roue d'arrière soit à l'opposé de la manivelle, et celui de la roue d'avant dans le sens de la manivelle. Celui de la roue motrice se détermine au moyen des contre-poids des roues extrêmes, et son centre de gravité doit être placé à l'opposé de la manivelle. Si l'on ajoute à la condition précédente que le moment du contre-poids de la roue du milieu soit un minimum, il faut supprimer les contre-poids des roues d'avant.

Il dit ensuite que, sans calculs, on peut, pour les machines non couplées, vérifier trois des résultats qu'il a obtenus. Ainsi, il cherche à démontrer :

1° Que le contre-poids doit être sur l'axe de la manivelle ou sur son prolongement;

2° Que le centre de gravité de la bielle et du piston, transporté à la tête, doit passer par le bouton de la manivelle;

3° Le centre de gravité du contre-poids de la manivelle, du piston et de la bielle, condensés comme il vient d'être dit, doit être sur l'essieu moteur.

Ces conditions assurent l'immobilité du centre de gravité des pièces mobiles, lequel ne coïncide pas avec l'essieu moteur par suite de la position du centre de gravité du piston en avant de sa tête.

Dans la deuxième partie de son mémoire, M. Yvon donne les expressions complètes des variations qu'éprouvent dans le mouvement rectiligne les composantes, parallèles à trois axes rectangulaires, des réactions exercées par les rails sur les roues des machines locomotives, et des moments de ces réactions par rapport aux mêmes axes.

Le président remercie M. Yvon de sa communication, et annonce que cette théorie sera mise à l'ordre du jour pour être discutée dans une des prochaines séances.

On reprend ensuite la discussion sur la construction des ponts suspendus.

Un membre. Avant d'aborder de nouvelles questions techniques, il importe de compléter les observations dont les premiers chapitres du rapport ont été l'objet, afin de mettre la commission à même de formuler dans son travail l'opinion qui exprimera le mieux les sympathies de la Société.

La question la plus grave sur laquelle il est nécessaire de revenir est celle de la fixation des coefficients de travail des fers et celle du système de la réglementation.

L'intérêt public est le motif sur lequel repose la réglementation. Ce motif est respectable; mais ce n'est pas le méconnaître que d'examiner si le but est atteint ou compromis par le règlement, et si le résultat cherché ne serait pas plus sûrement obtenu par un autre système, celui de contrôle et de la surveillance, par exemple.

La réglementation préventive, qui prescrit des conditions rigoureuses de construction, a compromis ou retardé les progrès de toutes les industries auxquelles on l'a appliquée. Les ponts suspendus n'ont pas eu seuls à en souffrir; la construction des chaudières à vapeur, celle des voies de chemin de fer ont eu le même sort, et c'est moins encore l'industrie qui a supporté les conséquences fâcheuses de ce régime vicieux, que l'intérêt public, que l'on avait cependant en vue de servir. Quand la réglementation n'a pas été observée, ce qui a eu lieu souvent, de l'aveu même et avec la tolérance de l'administration, elle a retardé les progrès de la science, c'est-à-dire retardé pour le public le bénéfice et les avantages de ces progrès, et d'un autre côté, en dégageant la responsabilité des constructeurs, elle les a rendus plus hardis pour tout ce qui n'était pas réglementé, elle a détruit l'intérêt que, dans un autre système, ils auraient eu à rechercher les meilleurs matériaux et à faire le mieux possible.

Si, en regard de ces résultats de la réglementation, on oppose ceux obtenus par le contrôle et la surveillance des industries laissées libres d'agir sous leurs responsabilité, on sera frappé de la différence. Sans sortir de la France, l'exploitation des mines, la construction du matériel des chemins de fer, qui

sont surveillées, mais non réglementées, fournissent sous ce rapport des faits importants et dignes d'être étudiés. Des observations plus nombreuses encore peuvent être faites en Angleterre, où la liberté est complète, sans que l'intérêt public soit ni compromis, ni négligé. Cet intérêt est garanti par un contrôle efficace, par une surveillance intelligente, qui se préoccupe en même temps des progrès de l'art et de l'industrie.

Que ces deux systèmes soient étudiés dans leur principe et dans les conséquences de leur application, et il n'est pas douteux que le second, celui de la liberté, ayant pour sanction, d'une part, la responsabilité, de l'autre, un contrôle réel, une surveillance effective, sera trouvé préférable sous tous les rapports à la réglementation, qui ne fait qu'entraver l'industrie, et nuit, dès lors, à l'intérêt public, au lieu de le protéger.

Appliquée aux ponts suspendus, par exemple, la liberté eût permis aux entrepreneurs de choisir leurs matériaux; elle eût mis leur intérêt particulier d'accord avec l'intérêt général, en leur faisant trouver de l'économie à rechercher les meilleurs fers, à les employer sous la forme la plus convenable, et tout le monde y eût gagné.

Toutes ces considérations méritent d'être pesées par la commission, et il y a lieu de l'inviter spécialement à examiner sous les points de vue suivants la question des limites d'efforts que l'on peut demander aux fers :

1° Liberté absolue, responsabilité effective et contrôle ;

2° Fixation d'un coefficient pour chaque système de construction et pour chaque nature de matériaux ;

3° Conséquences de la réglementation telle qu'elle existe actuellement.

LE RAPPORTEUR n'aperçoit pas d'analogie entre les ponts suspendus et les mines ou le matériel des chemins de fer. Il ne comprend pas dès lors comment le contrôle pourrait s'exercer de manière à remplacer, avec avantage pour l'industrie et une sécurité entière pour le public, les prescriptions réglementaires imposées en France aux constructeurs de ponts suspendus. Sans doute, la réglementation actuelle a des inconvénients ; elle repose sur des bases fausses, que la commission s'est attachée à rectifier, en en indiquant de nouvelles offrant toute garantie à la sécurité publique, et de nature à exciter les constructeurs à n'employer que des matériaux de la meilleure qualité. Si l'on préfère à ce système celui du simple contrôle, il faudrait faire connaître comment celui-ci pourra fonctionner utilement. On a parlé de l'Angleterre, où les constructeurs jouissent d'une liberté complète. Comment les choses se passent-elles dans ce pays? comment le contrôle y est-il exercé? C'est ce qu'il importerait de faire connaître.

LE PRÉOPINANT répond que c'est à la commission à s'enquérir des procédés en usage dans les autres pays et des avantages qu'ils peuvent offrir. Avant d'accepter le système de la réglementation préventive et des coefficients officiels du travail des fers, la commission aurait dû examiner d'abord si ces coefficients étaient utiles à prescrire, et si le régime de la liberté absolue ne donnait pas tout autant et même plus de garanties, en encourageant l'emploi de bons matériaux.

UN MEMBRE. A l'époque où les constructeurs avaient la liberté la plus complète, des ponts sont tombés au moment des épreuves. Depuis l'inter-

vention de l'administration, qui fixa et limita le travail du fer dans le but de prévenir de nouvelles chutes, il en est tombé autant.

Il ne faut pas attribuer la chute des ponts à la rupture des câbles. Il est impossible de citer des exemples de câbles en fil de fer rompus au moment des épreuves. En général, les chutes pendant l'essai proviennent de mauvaises dispositions d'ensemble ou de détails, de l'emploi de matériaux qui n'ont pu supporter les efforts auxquels on les a soumis, comme les goujons d'amarre en fer ou en fonte, les supports en fonte, les pierres de taille servant de points d'appui ou d'amarrages, les maçonneries mal confectionnées servant de supports ou de massifs d'amarre, etc.

La conséquence de la limite imposée par l'administration sous le rapport de la sécurité est non seulement nulle, mais d'un effet contraire, car cette limite ne sert qu'à encourager le constructeur à employer des fers à bon marché.

Au point de vue du développement de l'industrie des ponts suspendus en France, la conséquence a été de faire employer inutilement plus de fer qu'il n'en faut quand il est de bonne qualité, ou de faire trop travailler les fers de médiocre qualité par rapport à leur résistance absolue.

Le membre ne pense pas, jusqu'à preuve contraire, qu'en Angleterre on ait construit de ponts aussi économiquement qu'en France. L'opinant est fort partisan de la liberté la plus absolue ; il croit cependant qu'on peut discuter le cas où l'administration refuserait cette liberté ; il faut donc démontrer que la limite imposée par l'administration est irrationnelle et ne satisfait pas la sécurite publique.

Ainsi, soit un pont adjugé. Le concessionnaire doit présenter avec son projet une note de calculs qui indiquent la tension à laquelle les câbles seront soumis et la section qui en résultera suivant que l'on emploiera du fer en fil, en lame ou en barre. Après l'exécution, l'administration vérifie si réellement la section indiquée est en place, mais elle est indifférente sur la qualité des matériaux. Que cette section soit en fer qui porte 80 ou 40 kilog. par mm. q., c'est absolument la même chose. Elle réclame 18 kilog. par mm. q. au moment de l'essai ; si on les lui donne, elle est satisfaite.

Il y a donc lieu, si l'on n'abandonne pas ces limites imposées, et faute de liberté absolue, de modifier les conditions imposées, et de tenir compte de la qualité du fer employé.

UN MEMBRE signale les différences qui existent entre le mode de concession des travaux publics, comme les ponts suspendus, en France et en Angleterre, et demande si ces différences n'expliqueraient pas la solidité plus grande que peuvent offrir les ponts anglais. Dans ce pays, les concessions sont perpétuelles, et les entrepreneurs effectivement responsables ; les tarifs de péage sont plus élevés, et le prix des matériaux plus bas qu'en France. Il ressort de cet état de choses un intérêt évident à faire très solide, à employer les meilleures matières, les sytèmes les plus perfectionnés ; en dût-il résulter une dépense de premier établissement plus forte, elle est plus que compensée par l'économie d'entretien et par la perpétuité des concessions. Un système tout contraire, celui des adjudications au rabais et des courtes concessions, a prévalu en France ; il a eu pour résultat de faire apporter la plus grande économie dans les constructions et dans le choix des ma-

tières; puis l'administration est intervenue avec ses règles, avec ses procès-verbaux de réception, et elle a diminué ainsi la responsabilité des entrepreneurs. Les habitudes sont tellement enracinées maintenant en France, que la plus grande prudence doit présider aux modifications à apporter à la réglementation.

Le même membre présente ensuite plusieurs considérations techniques. Il pense que l'on devrait limiter la flèche que peut prendre le tablier d'un pont suspendu quand il est soumis au passage d'une charge d'épreuve donnée. Il croit également que, dans les grands centres de population comme Paris, on devrait prohiber entièrement des constructions aussi légères et d'une résistance aussi limitée que les ponts suspendus, parce que la circulation est non seulement très grande, mais très variable et presque impossible à calculer *a priori*. L'ouverture de rues nouvelles, la suppression des péages, suffisent pour décupler la circulation sur un pont, et mettre en défaut tous les calculs faits pour servir de base à sa construction.

LE RAPPORTEUR déclare que la commission partage l'opinion qui vient d'être émise au sujet des inconvénients que présentent les ponts suspendus dans les grandes villes et qu'elle l'a formulée dans son rapport.

UN MEMBRE. La liberté dont jouissent les constructeurs anglais a permis aux ingénieurs de construire des ponts suspendus comme ceux de Pesth et d'Hungerford, avec du fer marchand portant des têtes renflées, non pas soudées, mais obtenues dans des laminoirs dont les cylindres ont de 1 mètre à $1^{m},50$ de diamètre. D'un autre côté, la durée des concessions et les principes constitutifs de la propriété des travaux publics en Angleterre ont fait rechercher par les compagnies les meilleures conditions de stabilité et de longévité pour leurs constructions; leur intérêt privé leur en fait une loi, ce qui n'existe pas dans notre pays; et cet intérêt est le même que l'intérêt public, représenté en France par le gouvernement. Si donc on veut obtenir ici les mêmes résultats, il faut avoir recours aux mêmes moyens et se rapprocher de l'organisation anglaise; il faut associer l'intérêt que représente l'état à celui des entrepreneurs, et alors un simple contrôle suffira. Ce contrôle existe déjà en France pour le matériel des chemins de fer, et il garantit pleinement la sécurité publique, tout en laissant aux hommes de l'art une entière liberté dans le choix des systèmes et dans la réalisation de leurs idées. La science ne peut se resserrer dans les étroites limites d'un règlement sans demeurer immobile, sans renoncer à tout progrès. Le règlement de son côté ne peut tout prévoir; il règle l'avenir avec les connaissances restreintes du passé : aussi est-il toujours incomplet, et la confiance qu'il inspire ne donne au public qu'une sécurité tout à la fois trompeuse et dangereuse.

M. LE RAPPORTEUR. Les bases nouvelles indiquées par la commission pour les coefficients du travail des fers est une amélioration importante des règles appliquées actuellement par l'état.

UN MEMBRE présente des observations sur l'ordre à suivre pour la discussion. Il serait bon, suivant lui, d'examiner la question des ponts suspendus dans tous ses détails, d'abord au point de vue de l'art, ensuite au point de vue de la réglementation, et, sous ce dernier rapport, il serait essentiel de savoir exactement ce qui se fait dans les pays étrangers.

Comme question d'art, tout le monde est à peu près d'accord sur le poids

que peut supporter le fer en barre; mais il n'en est pas de même à l'égard du fil de fer, pour lequel il faut considérer, non seulement la force de résistance et l'élasticité au moment de l'emploi, mais les altérations qu'il peut subir avec le temps sous diverses influences, et notamment celle de l'oxydation. C'est probablement en prévision des changements que le temps amène dans les qualités et la contexture du fer à l'état de fil, que l'administration a fixé le coefficient maximum de 18 kilog.; il serait important de vérifier par des expériences ce qu'il en est à cet égard pour éclairer l'industrie et les hommes de l'art, aussi bien que l'administration.

UN MEMBRE appuie l'opinion qui vient d'être émise. La question a une haute gravité et doit être discutée avec méthode. Examinons d'abord ce qui est relatif à la résistance du fer, indépendamment de toute réglementation; nous consacrerons ensuite une séance spéciale et un chapitre particulier à la comparaison des deux systèmes : la réglementation préventive, absolue, et la liberté soumise à un contrôle et à une surveillance.

LE RAPPORTEUR. C'est ainsi que la commission a procédé dans son rapport.

UN MEMBRE. On ne peut ajourner l'examen de la réglementation : elle revient à chaque instant; il n'est pas un chapitre du rapport où elle ne soit soulevée. Il faut donc avant tout se mettre d'accord sur ce point essentiel, qui est la véritable base du rapport.

L'ordre de discussion proposé est vicieux; nous avons à déterminer le meilleur système de pont, et non pas à fixer les conditions de sécurité à demander à chaque système.

SÉANCE DU 21 MARS 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

ANALYSE DES TRAVAUX DE L'INSTITUT DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES.

Construction du Palais de cristal.

Le rapporteur indique d'une manière générale tout l'intérêt qui s'attache aux séances de l'Institut de Londres, qui compte parmi ses membres des ingénieurs du plus grand mérite, engagés dans des travaux considérables, et apportant dans la discussion le fruit de leurs observations et d'une longue expérience; il aborde ensuite le compte-rendu de trois séances de l'Institut,

qui ont été exclusivement consacrées à la lecture d'un rapport et à des discussions pleines d'intérêt sur la construction des bâtiments de la grande exposition des produits de l'industrie.

Le rapport de M. Wyatt, lu à la première séance, donne une description complète du *Cristal palace*. Ce monument, dont les principales dispositions ont été indiquées par M. Paxton, a été élevé dans *Hyde Park* par les soins de MM. Fox, Anderson et compagnie. Il se compose d'une nef de $21^{m}.60$ de largeur sur $19^{m}.20$ de hauteur, à laquelle se rattachent 8 ailes latérales, dont 2 de $14^{m}.40$ et 6 de $7^{m}.20$ de largeur, dont les hauteurs respectives sont de $12^{m}.90$ et $6^{m}.90$.

Le bâtiment est traversé par une galerie de $122^{m}.40$ de long, $21^{m}.60$ de largeur et 30^{m} de hauteur, couverte par un comble demi-circulaire dont les naissances sont à $18^{m}.40$ du sol.

La surface totale du rez-de-chaussée est de $69{,}550^{mq}.56$; celle des galeries supérieures est de $19{,}530^{mq}$.

M. Digby Wyatt entre dans tous les détails de la construction, depuis les massifs de béton qui supportent les colonnes, les poutres armées qui soutiennent les galeries, les fermes de la toiture, les gouttières, etc., etc., jusqu'aux dispositions adoptées pour l'écoulement des eaux de pluie, la ventilation, l'extinction des incendies, l'alimentation des fontaines, et enfin pour l'essai des principales pièces qui entrent dans la composition du bâtiment.

Cette construction a été exécutée avec une rapidité presque fabuleuse, grâce à tous les appareils mécaniques que l'on a employés pour économiser la main-d'œuvre, tels que machines à faire les châssis, les gouttières, à couper le verre, à peindre, etc., etc.

La discussion a commencé à la séance suivante. Le projet exécuté a été attaqué à différents points de vue.

La construction, a-t-on dit, serait fortement endommagée par les grands vents, et au lieu d'essayer les poutres séparément, comme on l'a fait, on aurait dû éprouver toute la couverture en même temps, ainsi que cela a été pratiqué pour celle de la station du chemin de fer à Liverpool, à laquelle on a suspendu des poids d'un effet équivalent à celui qui serait dû à une pression de 250^{k} par mètre carré exercée par un grand vent. Les assemblages des poutres avec les colonnes seraient trop faibles, et sujets à se rompre; les massifs de béton qui composent la fondation seraient insuffisants ; les colonnes de $0^{m}.20$ de diamètre, d'une épaisseur variable entre $0^{m}.028$ et $0^{m}.012$, et coulées en 7 morceaux, seraient trop faibles, et sans stabilité pour une aussi grande élévation que celle de $19^{m}.20$; les poutres armées des galeries ne résisteraient pas à l'action de roulement occasionnée par la foule se portant en masse dans une même direction; le verre employé, qui a $0^{m}.003$ d'épaisseur, et pèse $6^{k}.60$ par mètre carré, ne résisterait ni à la grêle ni au poids de la neige; enfin, la condensation des vapeurs sur ces masses de fonte et de fer viendrait abîmer les marchandises, tandis que la quantité de bois employée, et la disposition même du bâtiment, favoriseraient beaucoup l'action d'un incendie.

A ces différentes objections, il a été répondu que toutes les parties de la construction avaient été l'objet des soins les plus attentifs et des expériences les plus minutieuses. Ainsi, la fondation de béton a parfaitement résisté à

une épreuve de $7^k.90$ par millimètre carré, tandis que la charge réelle, en supposant le bâtiment rempli de monde, et $0^m.60$ de neige sur les toits, ne sera que de $2^k.82$ sur la même surface; les colonnes ont été soumises à des épreuves analogues, et il en résulte que la charge de rupture dépasse 300 tonnes, tandis que le plus fort poids qu'elles puissent jamais avoir à supporter ne dépassera pas 60 tonnes; une expérience de douze années a déjà prouvé que les verres employés étaient d'une force suffisante, et ils seront d'ailleurs protégés par des toiles, qui auront encore pour effet de tempérer les rayons du soleil et de favoriser la ventilation.

Cette importante discussion a continué dans une troisième séance de l'Institut, et plusieurs des objections précédentes ont été reproduites. Le bâtiment résisterait sans doute à tous les efforts verticaux qui pourraient se produire; mais il n'en serait pas de même pour une pression latérale exercée par le vent à raison de 125^k par mètre carré. Il présente l'application la plus étendue d'une construction purement rectangulaire; mais, comme il ne possède pas les forts pignons en maçonnerie des filatures du Lancashire, qui sont aussi des constructions rectangulaires composées de colonnes et de poutres, sa stabilité dépend uniquement de l'assemblage des colonnes et des poutres. Ces assemblages étant faibles, les colonnes, qui ne sont pas suffisamment rattachées au sol, peuvent prendre un mouvement de roulement qu'il serait prudent de prévenir par de fortes pièces placées en diagonale. Enfin, la grande quantité de lumière admise par un toit tout en verre nuira aux étalages, et l'on ajoute qu'une couverture en ardoises eût mieux satisfait aux conditions générales à remplir.

Ces objections ont été fortement combattues, et les partisans du système adopté sont entrés dans des explications détaillées pour montrer que les assemblages étaient suffisamment solides, non seulement pour porter les poutres, mais encore pour résister à tout effort accidendel résultant de la rupture de quelques autres pièces voisines, ainsi que d'ailleurs l'expérience l'a prouvé dans le cours de la construction.

A l'égard du verre, les résultats d'une expérience incontestable ont été de nouveau invoqués.

Un membre a ensuite proposé de prévenir l'incendie des toiles de la toiture, en les préparant suivant le procédé de M. Burnett.

La discussion s'est terminée à ce point, et dans le résumé qui en a été fait, il a été nettement déclaré que l'Institut des ingénieurs n'était nullement responsable de l'expression de certaines opinions individuelles, la discussion ayant simplement pour objet d'étudier les faits, dont chaque auditeur devait déduire ses propres conclusions.

Dans une prochaine séance, le rapporteur fera connaître la suite des travaux les plus récents de l'Institut de Londres et résumera notamment la discussion qui s'est élevée au sujet des divers systèmes de ventilation des mines.

REPRISE DE LA DISCUSSION SUR LES PONTS SUSPENDUS.

M. LE RAPPORTEUR rappelle que la question à discuter est celle de la charge à faire supporter par les chaînes des ponts suspendus. Le gouverne-

ment impose aujourd'hui les coefficients de 18 k. pour le fil de fer, de 14 kil. pour les lames et de 12 k. pour les barres. La commission a constaté que l'adoption de ces bases de résistance avait eu des résultats absolument contraires à ceux espérés ; elle croit que l'on donnerait des garanties beaucoup plus réelles aux intérêts publics et privés en fixant au tiers de la charge de rupture l'effort *minimum* à faire supporter aux câbles.

UN MEMBRE regarde le coefficient du tiers comme trop élevé. Il pense qu'au delà du quart le fil de fer s'allonge et perd de son élasticité. Il ne faut pas oublier non plus que la durée des concessions est l'un des éléments essentiels du calcul à faire. Plus la concession est longue, moins on fait travailler les câbles de suspension.

UN MEMBRE. Dans la construction des ponts de Fribourg et de Tournon, on a fait supporter 30 kilog. par mill. q. de section aux câbles en fil de fer, et après 25 à 30 ans de service, le métal n'avait rien perdu de ses qualités. Les 30 kilog. par mill. q. n'ont chargé les câbles qu'au moment des épreuves, c'est-à-dire pendant vingt-quatre heures seulement, tandis que leur service ordinaire n'excède pas 6 kilog. On a essayé dernièrement des brins de fil provenant du pont de Tournon, et il a été reconnu qu'ils n'avaient perdu qu'un kilog. de résistance après vingt-quatre ans de service.

M. LE RAPPORTEUR. Les câbles du pont de Fribourg ont été calculés au tiers de la charge de rupture ; ceux du pont de Tournon au quart, et dans les deux cas, comme dans celui du pont de la Basse-Chaîne, les fers ont très peu perdu de leur résistance primitive. Il n'y a donc pas de conclusion bien précise à tirer de ces exemples. La commission avait d'abord adopté le coefficient du quart ; elle est revenue ensuite à celui du tiers, sur les observations qui lui ont été faites, que le premier chiffre était trop rigoureux.

UN MEMBRE. Le coefficient du tiers est admissible à la condition que tous les éléments constitutifs des câbles seront également intéressés dans les efforts à subir, mais il n'en est pas ainsi dans la pratique. Pour les câbles en fil, par exemple, la charge n'est jamais égale pour tous les brins ; il y a des fils qui travaillent beaucoup : ceux-là souffrent davantage que les autres, et, bien que ceux-ci se conservent très bien, ils sont brisés lorsque les autres viennent à se rompre par suite de leur usure exceptionnelle. Il n'est donc pas prudent, avec des éventualités semblables, d'admettre le coefficient du tiers.

Si, au lieu de câbles en fil, il s'agit de câbles en lames, on se trouve en présence d'inconvénients d'une autre nature et de nombreuses causes d'inégalité de charge. Il y a des soudures plus ou moins bien faites, de nombreux boulons, et des assemblages qui ne travaillent pas tous. Les épreuves que l'on fait subir à ces ponts ne sont donc pas concluantes.

En résumé, il peut être dangereux d'adopter le coefficient du tiers, et la prudence invite à ne pas excéder celui du quart.

UN MEMBRE. Il n'y aurait aucun inconvénient à approcher, autant que possible, dans les épreuves, de la limite de résistance absolue, puisque le fer éprouvé à 30 kilog. n'en porte régulièrement que 6 : cela obligerait à ne prendre que de très bons matériaux et à les employer le mieux possible, à choisir les meilleurs systèmes, à faire des constructions très solides, etc. ; car tout se tient dans les ouvrages de cette nature, et plus l'épreuve des câ-

bles sera sérieuse, plus les maçonneries, les pièces d'attache et les assemblages présenteront de garanties de sécurité.

Aujourd'hui on ne se préoccupe que d'une seule chose, l'épreuve des câbles ; tout le reste est négligé : aussi tous les calculs sont-ils faits au point de vue unique du succès de cette épreuve. Pour réduire la charge, on diminue la force des tabliers, celle des garde-corps, et l'on arrive à faire des ponts qui manquent de solidité et de stabilité. Ce système est vicieux. Au lieu de pousser les constructeurs à faire des ponts légers, il faut trouver le moyen de mettre leur intérêt d'accord avec l'emploi du meilleur métal, travaillant plus également et avec des tabliers aussi rigides que possible.

UN MEMBRE. La charge permanente à faire supporter aux câbles doit être généralement fixée au delà du tiers de la charge de rupture, soit qu'il s'agisse de ponts en lames ou en barres, parce que, dans ce cas, les pièces auxiliaires de suspension sont très lourdes, ce qui ne permet pas d'atteindre à de grandes portées ; soit qu'il s'agisse de ponts en fil, parce que ce système a pour lui tous les avantages d'une économie considérable. Toutefois on pourrait admettre un coefficient variable suivant les systèmes et les portées des ponts.

M. LE RAPPORTEUR fait observer qu'outre les charges permanentes, un pont peut être soumis, dans certains cas, à l'action de forces vives, telles que la rupture d'un essieu de voiture ou le passage d'un grand nombre d'hommes marchant au pas. Il y aurait donc imprudence à admettre que les ponts peuvent être éprouvés à la moitié de la charge de rupture. Dans les bâtiments, où le fer employé en tirants n'est soumis ni à des efforts accidentels ni à des vibrations, on est loin d'adopter la proportion de moitié. Pour les ponts, le coefficient du tiers peut être appliqué aux fils qui résistent à 75 kilog. ; mais, pour ceux qui rompent à 60 kilog., le coefficient du quart doit être exigé ; on arriverait ainsi à proportionner les coefficients à la qualité des fils employés.

UN MEMBRE. Dans les circonstances ordinaires, les fils n'ont pas à supporter plus de 6 kilog. ; on peut donc adopter d'une manière générale le coefficient du tiers.

UN MEMBRE. Pour arriver à une solution, il faut se rendre compte de ce que l'on veut. Deux systèmes sont en présence : les ponts légers et peu coûteux, comme en France ; les ponts en fer marchand, plus lourds, mais très solides et très durables, comme ceux d'Angleterre. Il faut encourager l'établissement de chacun de ces ponts, et laisser ensuite les entrepreneurs choisir entre les différents systèmes.

Les ponts légers sont économiques, mais manquent de stabilité ; il faut leur en donner en prescrivant des essais distincts pour les fils, les câbles isolés, les câbles réunis, les maçonneries, en un mot pour les diverses parties constitutives de ce genre de construction, et en accordant des coefficients d'autant plus élevés que les entrepreneurs se soumettront à des épreuves plus multipliées.

Les ponts en fer marchand offrent des garanties sérieuses de stabilité, attendu que les charges accidentelles sont très peu de chose relativement au poids même des ponts. Les exemples que l'Angleterre fournit prouvent que l'on peut, avec toute sécurité, faire usage de ce système, même dans l'in-

térieur des villes les plus peuplées. La commission a donc eu tort de condamner d'une manière générale l'établissement des ponts suspendus dans l'intérieur des grandes villes, puisqu'il est possible de leur donner toutes les conditions désirables de solidité.

En résumé, les chiffres que propose la commission reposent sur une donnée exclusive en faveur de l'emploi du fil de fer; il convient de l'inviter à suivre une série d'épreuves et d'expériences sur la résistance des fers dans les différentes conditions de leur emploi. Le résultat de ces expériences donnera à ces propositions une base sérieuse sur laquelle il sera possible de discuter utilement.

UN MEMBRE critique le système qui consisterait à établir des tabliers très lourds, dans le but unique d'accroître la stabilité de la construction, cette surcharge permanente fatiguant inutilement les câbles et diminuant leur force disponible pour résister aux charges accidentelles; mais il est d'avis que l'on peut arriver au même résultat en augmentant la rigidité des tabliers.

Le système suivi en Angleterre ne convient pas à la France, en raison de la différence du prix des fers. Le pont de Menai, composé de soixante-quatre chaînes, est d'un aspect disgracieux et d'un poids excessif; en France il serait revenu à un prix énorme. Les câbles en fil de fer eussent donné une résistance égale avec un poids beaucoup moindre et une économie considérable; ce système eût donc été préféré avec raison.

Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, cette circonstance essentielle que les oscillations sont indépendantes du poids des chaînes, et que, dès lors, il n'y a nul avantage, sous ce rapport, à employer des lames ou des barres, dont les têtes renflées, les boulons, les assemblages, ajoutent à la charge sans accroître la force ni diminuer les mouvements horizontaux ou verticaux.

UN MEMBRE. Il faut envisager la question indépendamment des matériaux employés. Les charges passagères sont trop faibles par rapport aux charges permanentes pour que l'on doive s'en préoccuper. Plus les câbles de suspension sont forts et plus le tablier doit être lourd, plus la construction sera solide; elle sera dès lors très peu affectée par une charge passagère quelconque, la charge permanente étant, dans tous les cas, beaucoup plus considérable.

UN MEMBRE endend le système adopté pour la construction du pont de Menai. On oublie que ce pont est jeté sur un détroit dans lequel soufflent des vents d'une grande violence; les ingénieurs ont adopté, en conséquence, pour cet ouvrage comme pour les nouveaux ponts tubulaires qui leur font tant d'honneur, un système basé sur ce principe que les ponts exposés à de grands efforts doivent résister par leur masses, et y trouver, comme élément de solidité et de stabilité, l'absence d'oscillations et de vibrations destructives.

Dans ces conditions, on peut très bien élever le coefficient; mais il n'en est pas de même avec le système des constructions légères, incapable de résister sans déformation et sans fortes oscillations aux efforts permanents ou accidentels qu'elles peuvent avoir à supporter.

UN MEMBRE reconnaît les avantages des masses comme éléments de résis-

tance et de stabilité ; mais il ne croit pas que les masses doivent être dans les chaînes.

UN MEMBRE expose les résultats consignés dans le dernier n° des *Annales des ponts et chaussées :* c'est que le fer marchand ne subissait aucune altération jusqu'à la moitié du poids de rupture ; dans les fils, l'allongement arrive plus tôt ; c'est une question de fabrication, d'écrouissage. La commission doit recueillir et étudier tous ces faits et les faire connaître.

M. LE RAPPORTEUR propose d'ajourner la question des coefficients, afin de donner le temps à la commission de se procurer des renseignements précis, et de discuter, en attendant, les chapitres qui suivent.

Cette proposition est adoptée.

SÉANCE DU 4 AVRIL 1851.

Présidence de M. A. PERDONNET.

M. Yvon Villarceau ayant communiqué, dans deux séances précédentes, des recherches mathématiques sur la théorie de la stabilité des machines locomotives en mouvement, et plusieurs de ses observations tendant à infirmer quelques unes des conclusions d'un travail sur le même sujet publié en 1849 par M. Lechatellier, ingénieur des mines, et développé par lui l'année dernière dans le sein de la Société des ingénieurs civils, la discussion est ouverte de nouveau sur cette importante question.

M. LECHATELLIER, qui assiste à la séance, donne lecture d'une note en réponse aux deux mémoires présentés par M. Yvon Villarceau.

Son intention, en publiant, il y a deux ans, le résultat de ses recherches sur les causes de l'instabilité des machines locomotives et sur les moyens de les détruire, n'a pas été de donner une théorie complète des principes de la stabilité des machines, mais seulement d'indiquer un moyen pratique de faire disparaître les mouvements anormaux qui se produisent dans la marche des locomotives. Ce procédé étant donné et son exactitude confirmée par l'expérience faite sur plus de trois cents machines réglées d'après le système des contre-poids, il restait à le vérifier à l'aide de la théorie scientifique. Ce travail, M. Yvon Villarceau s'en est chargé, et sur beaucoup de points il s'est trouvé d'accord avec M. Lechatellier ; toutefois, il en est d'autres sur lesquels il a signalé des différences qui rendent nécessaire une nouvelle discussion.

Ainsi, dans les machines à six roues couplées, M. Yvon Villarceau émet l'avis que le contre-poids des roues d'avant étant placé dans le sens opposé à la manivelle, celui des roues d'arrière doit être placé dans le même sens qu'elles. — M. Lechatellier pense qu'il faut équilibrer chaque roue sé-

parément, en comprenant dans son mouvement celui de tout l'attirail qu'elle porte, ou la part qui lui est afférente dans le mouvement de cet attirail lorsqu'il est commun à plusieurs roues.

L'auteur du procédé n'aperçoit pas, dès lors, l'avantage qu'il y aurait à placer l'un des contre-poids dans le même sens que la manivelle ; il y verrait plutôt des inconvénients, et désirerait que M. Yvon donnât sur ce point des explications plus étendues.

Il ne croit pas non plus qu'il soit possible de remplir une des conditions indiquées par M. Yvon pour équilibrer le mouvement de la bielle dans les machines à roues indépendantes. Il a calculé que, pour satisfaire à cette condition dans la machine du chemin de fer du Nord prise comme exemple, il faudrait prolonger la bielle de 1 mètre au delà du manneton de la manivelle, et lui appliquer une lentille du poids de 400 kilog. Cette disposition ne pourrait pas être appliquée aux machines à cylindres intérieurs, et pour celles dont les cylindres sont placés à l'extérieur, l'avantage que l'on pourrait en retirer ne compenserait pas l'inconvénient qu'elle présenterait, M. Yvon reconnaissant lui-même que les perturbations dont il s'agit n'ont qu'une très faible importance.

Enfin, M. Yvon ayant toujours supposé dans son travail que les cylindres sont horizontaux, il resterait à savoir ce qui devrait être fait, suivant lui, pour les machines à cylindres inclinés.

En résumé, M. Lechatellier n'a pas trouvé dans les considérations exposées par M. Yvon de Villarceau dans son mémoire de motifs suffisants et de raisons déterminantes pour abandonner quant à présent la méthode pratique indiquée par lui pour équilibrer les machines locomotives en mouvement.

M. YVON VILLARCEAU fait précéder sa réponse à la note de M. Lechatellier de la lecture d'une lettre déposée sur le bureau à la fin de la séance précédente, et dans laquelle se trouve traité le cas des machines à cylindres inclinés. Entrant ensuite dans la discussion, il s'occupe d'abord des machines à six roues couplées, et soutient que, pour satisfaire aux équations d'équilibre, les contre-poids des roues d'avant et d'arrière doivent être placés, non pas l'un et l'autre dans le sens opposé à la manivelle, mais l'un dans le même sens et l'autre dans le sens opposé.

Quant au prolongement de la bielle au delà du manneton dans les machines à roues indépendantes, il est possible que cette condition soit difficile à réaliser dans les machines actuelles; mais cependant ce ne doit pas être là un obstacle invincible, si la disposition est reconnue bonne : il faudra seulement chercher le moyen pratique d'introduire dans ces machines, et surtout dans les nouvelles à construire, des organes produisant les résultats voulus. Mais il persiste à croire que, si l'on se borne à suivre le procédé de M. Lechatellier, on n'arrivera pas à équilibrer complétement les machines locomotives en mouvement.

UN MEMBRE. Jusqu'à présent, le procédé de M. Lechatellier a complétement satisfait les ingénieurs et résolu pratiquement le problème de la manière la plus satisfaisante, puisque les causes perturbatrices de la stabilité des machines locomotives ont disparu.

Dans le règlement des machines tel qu'il est fait maintenant, d'après les

indications de M. Lechatellier, il existe une symétrie complète entre les contre-poids par rapport aux organes afférents à chacun des cylindres, et les résultats obtenus sont excellents. Il faudrait donc produire autre chose que des calculs pour faire abandonner une pratique aussi avantageuse; il faudrait proposer des moyens d'une application facile, dont la supériorité pourrait être démontrée à tous et vérifiée par tous à l'aide des notions de mécanique généralement répandues : or c'est ce que l'on ne fait pas.

La discussion a porté sur deux points principaux : en premier lieu, sur une interprétation d'un passage du mémoire de M. Lechatellier, contraire à celle que tous les ingénieurs lui ont donnée, et surtout à la pratique suivie dans tous les ateliers d'après les conseils de M. Lechatellier; en second lieu, sur la convenance de l'adjonction d'une bielle à contre-poids au delà du manneton de la manivelle. A l'égard de cette proposition, il y a deux choses essentielles à considérer : la possibilité, l'utilité. Quant à la possibilité, elle n'existe pas avec le système actuel des machines locomotives. Cela serait très regrettable, sans doute, si l'adjonction proposée était vraiment nécessaire; mais il n'en est pas ainsi. Que veut-on prévenir? Les effets d'une réaction verticale sur les rails, c'est-à-dire des à-coups que les contre-poids déterminent lorsqu'à chaque tour de roue ils redescendent sur les rails, et, par suite, les méplats qui se produisent sur les bandages, et entraînent leur usure plus rapide aux points correspondants aux contre-poids que dans les autres points. Ces craintes avaient préoccupé les ingénieurs lorsque le nouveau système de règlement des machines a été proposé; mais il a été reconnu par l'expérience qu'elles étaient sans fondement, et que l'usage des contre-poids n'exerçait pas d'influence fâcheuse sur les bandages.

M. YVON croit avoir répondu à toutes les exigences de la pratique et indiqué les moyens d'une application possible. Dans tous les cas, et même en admettant que l'on ne puisse arriver aujourd'hui à équilibrer complétement les machines, il est toujours bon de savoir ce qui reste à faire sous ce rapport, et quelle est l'importance des causes perturbatrices qui subsistent encore, malgré les améliorations introduites dans la construction des machines pour accroître la stabilité. C'est cette différence entre le progrès accompli et la solution complète du problème, c'est-à-dire la stabilité absolue, qu'il a voulu indiquer, et il pense avoir satisfait, sous ce rapport, à toutes les exigences de la question.

UN MEMBRE appuie l'opinion précédemment émise par un de ses collègues sur les résultats de la discussion, et ne croit pas que l'on puisse s'autoriser des différences peu importantes signalées entre les conclusions de la théorie pure et les procédés pratiques fournis à l'industrie des chemins de fer par M. Lechatellier pour rien changer quant à présent au système suivi dans les ateliers pour équilibrer les machines locomotives en mouvement.

SÉANCE DU 18 AVRIL 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Lechatelier, dans laquelle celui-ci rectifie une erreur qui a été commise dans le dernier compte-rendu relativement au prolongement de la bielle au delà du manneton de la manivelle. C'est à un prolongement de $0^m,50$ que correspond une lentille de 400 kilog., et non pas à un prolongement de 1^m. Dans ce cas, la lentille ne devrait peser que 215 kilog. M. Lechatelier ajoute qu'il a cherché à faire une application simple, et que, pour y arriver, il a fait bon marché de toutes les conditions qui pouvaient être négligées sans inconvénient grave; il ne s'est pas montré difficile sur les moyens à employer, parce qu'ils n'avaient pour objet que de le conduire à des résultats d'expérience nécessaires pour confirmer la valeur de son procédé. M. Yvon Villarceau, dit M. Lechatelier, a fait une théorie très complète et qui ne laisse rien à désirer comme théorie; la discussion ne doit donc avoir lieu que sur les procédés matériels à employer dans les ateliers pour arriver au résultat cherché. Il reste convaincu que, lorsque M. Yvon déduira de ses formules les moyens d'application réellement pratiques qu'elles comportent, il arrivera exactement au même résultat que lui, obligé qu'il sera de négliger après coup ce que M. Lechatelier a négligé lui-même *a priori* pour satisfaire aux nécessités de la construction.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Yvon, dans laquelle celui-ci propose de rectifier, en ce qui le concerne, le compte-rendu de la séance du 4 avril; car, à la lecture de ce compte-rendu, beaucoup de personnes ont pu se figurer qu'il avait entrepris de vérifier les règles pratiques proposées par M. Lechatelier. Cette manière d'envisager son travail serait inexacte. Il a abordé la question de stabilité des locomotives en mouvement sans se préoccuper des travaux de M. Lechatelier et autres ingénieurs sur cette matière. Il a retrouvé de son côté les conditions indiquées par ces ingénieurs; mais il en fait connaître plusieurs autres entièrement nouvelles et qui ne sont pas sans importance. Malgré les incontestables avantages que la pratique a obtenus chez nous de l'application des contre-poids de M. Lechatelier aux machines locomotives, il subsiste cependant des effets fâcheux. Les bandages des roues motrices présentent, en une région de leur contour, des flaches dont la profondeur atteint souvent 5 à 6 millimètres, et en moyenne 3 à 4 millimètres, après un parcours de 25,000 kilomètres, environ. Ce sont, entre autres, ces effets dont il s'agit de diminuer l'intensité en satisfaisant d'une manière plus ou moins complète à l'ensemble des conditions de la stabilité. Tout le monde étant d'accord sur ce que les règles de M. Le-

chatelier ne satisfont pas complétement à l'ensemble des conditions de stabilité, et celles-ci se trouvant fixées par la théorie de M. Yvon, abstraction faite des difficultés de la réalisation, il ne reste plus évidemment qu'à rechercher le système pratique qui approche le plus de la solution complète.

Jusqu'ici il n'a encore rien communiqué qui se rattache à cette transition; mais il se propose de présenter prochainement à la Société un projet (basé sur sa théorie) d'expériences rationnelles sans lesquelles il est actuellement impossible de déterminer les conditions de stabilité les plus avantageuses au point de vue de la dépense de combustible, de l'entretien et de la réparation des locomotives.

M. Yvon fait remarquer que les calculs contenus dans la lettre de M. Lechatelier sont relatifs à une question sur laquelle ils sont tombés d'accord, après les explications de M.| Lechatelier relativement à l'interprétation d'un passage de son ouvrage sur la situation des boutons des manivelles et des contre-poids.

TRAVAUX DE L'INSTITUT DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES.
AÉRAGE DES MINES.

UN MEMBRE obtient ensuite la parole pour faire connaître à la Société le résumé de plusieurs séances de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, dans lesquelles on a discuté les meilleurs moyens à employer pour éviter les accidents qui se déclarent si souvent dans les mines. Voici ce résumé :

Dans la séance du 12 novembre 1850, M. William-Vest, de Leeds, a lu un mémoire sur l'exploitation des mines de charbon. Ce mémoire présente une analyse raisonnée des rapports de Faraday, de la Bêche Playfair et autres, d'où il résulte que les mines en général, et même celles qui passent pour les plus sûres, tendent à devenir dangereuses et exigent que l'attention soit éveillée sur les différents genres de précautions à prendre.

Différentes considérations sont présentées à ce sujet, et l'on signale l'intention du gouvernement d'établir des inspecteurs des mines, non pas pour que leur contrôle diminue en quoi que ce soit la responsabilité des ingénieurs et des directeurs, mais parce qu'on veut prouver qu'en établissant des rapports plus réguliers entre les différents districts, il en résultera une adoption plus générale des moyens de sécurité qui auraient déjà produit de bons résultats dans certaines exploitations.

La profondeur des mines paraît être sans influence déterminante sur les accidents. Il faut plutôt chercher la cause de ceux-ci dans la prédisposition de certaines couches de charbon à émettre des gaz carburés, bien que cependant certaines mines qui se présentent dans des conditions assez favorables aient été le théâtre de nombreuses explosions : celle de Farrost, par exemple, a eu, dans un espace de 28 ans, six explosions, qui ont coûté la vie à 140 personnes.

Dans certains cas, les plus fatales explosions n'ont pas été empêchées par une ventilation en général convenable; il est résulté, par des exemples d'enquêtes ouvertes après les accidents des mines de Haswelt et de Jarrast, que la ventilation était parfaite. Dans ces circonstances, le mal est venu, non

pas du défaut d'air, mais plutôt de la difficulté de le faire circuler dans toutes les parties de la mine, de manière à chasser tous les gaz qui se produisent.

L'accumulation du gaz dans les cavités du toit, sa soudaine irruption par suite des chutes qui se produisent dans les anciens travaux[1], et l'usage des lampes sans grillage, sont, en définitive, les causes les plus ordinaires des explosions. Parmi les précautions à prendre, on signale l'abandon des puits à cloisons, la nécessité d'avoir dans chaque exploitation au moins deux puits placés à des distances telles, que, en cas d'explosion, l'un des deux reste toujours praticable, et la convenance de diriger une partie de l'air dans les puits de sortie à une certaine hauteur au dessus des foyers de ventilation; enfin la discussion se porte sur les précautions à prendre pour assurer la constante action des appareils de ventilation pour évacuer l'air vicié.

On signale avec regret la témérité et le manque de précaution des ouvriers; mais on indique la nécessité de tirer parti de leurs qualités réelles par l'éducation et le bon exemple, et, dans ce cas, la connaissance exacte des dangers qu'ils affrontent en manquant aux règlements établis dans les mines, et l'instinct naturel de leur conservation, seront leur meilleure sauve-garde contre les accidents. On insiste enfin très énergiquement sur la nécessité d'instruire et de perfectionner les ouvriers, et l'on présente ce moyen comme devant conduire beaucoup plus sûrement à la sécurité des exploitations que toute une armée d'inspecteurs du gouvernement.

Dans la séance du 19 novembre 1850, M. Villiam Price Struvé, de Swansea, lit un mémoire sur la ventilation des houillères, envisagée au double point de vue de la théorie et de la pratique.

L'auteur commence par montrer que les principes généraux qui doivent régir la ventilation des houillères sont :

1° Qu'il suffit, dans la plupart des cas, de donner une vitesse de $1^{m}.50$ par seconde au courant qui traverse les galeries;

2° Qu'au delà de cette vitesse, il en résulte des pertes et des inconvénients;

3° Que, pour obtenir une quantité d'air frais suffisante, il faut donner une section convenable au passage d'air.

En aménageant l'exploitation d'une mine de manière à répartir les travaux sur beaucoup de points, pour diviser le courant d'air, ou en le partageant en plusieurs conduits qui alimentent séparément les différents chantiers, et, en s'arrangeant d'ailleurs pour élargir la conduite d'air et en réduire la longueur totale, il est facile de faire passer dans une exploitation 8^{mc} d'air par minute et par homme.

La rapidité du courant d'air dans une mine peut être affectée par beaucoup de causes, qu'il importe de signaler, et l'une des plus fréquentes consiste dans les pertes d'air qui ont lieu par les anciens travaux qui ne sont pas entièrement comblés, et par les dérangements qui se produisent dans la stratification naturelle des couches. Ainsi, dans deux expériences faites avec le ventilateur de M. Struvé, il a été prouvé que l'air aspiré ne descendait pas par l'un des puits pour traverser les travaux existants, mais provenait, au contraire, en grande partie, des chambres existant dans les anciens travaux ou créées naturellement par les éboulements qui avaient eu lieu aux en-

virons de la mine. — Dans ces différents cas, l'élargissement des passages d'air, de manière à réduire sa vitesse à $0^m.90$ ou $1^m.20$ par seconde, aurait produit les meilleurs résultats.

Ces principes ont été perdus dans la plupart des exploitations, où l'on s'est fié uniquement au tirage des foyers pour déterminer la ventilation. Dans quelques cas même, on s'en rapporte à l'accroissement de température produit dans la mine par la lumière et la respiration des hommes, aidée par l'effet du refroidissement de l'eau qui dégoutte dans le puits. Ceci suffit à peine pour produire, pendant l'hiver, une différence de température de 13 degrés entre les deux puits, tandis que, pendant l'été, cette différence est souvent nulle, et la ventilation se trouve presque annihilée.

Là où l'on emploie les foyers, la température dans le puits de sortie varie de 90 à 160 degrés, résultat fort avantageux pour la ventilation, mais nuisible pour le puits lui-même, et fort dangereux pour les ouvriers qui le traversent.

La comparaison des dimensions des passages d'air et de sa vitesse dans un grand nombre d'exploitations a conduit M. Struvé à l'estimation de la force employée dans les mines les mieux ventilées dans le cas où l'on emploierait une machine à vapeur et des pompes à air : cette force serait de 23 à 26 chevaux.

L'auteur cite aussi dans son mémoire les expériences de MM. Nicholas Wood, Elliot, Vivian et autres ingénieurs des mines, pour prouver l'insuffisance de l'emploi d'un jet de vapeur pour produire la ventilation, et il prouve que c'est ici une mauvaise application de la puissance de la vapeur, surtout en la comparant à la force nécessaire pour faire fonctionner le ventilateur qu'il a établi dans les houillères d'Englesbush. Cet appareil (1) se compose de deux pistons creux assez semblables à de grands gazomètres, et portant des soupapes d'entrée et de sortie. Ces pistons se meuvent dans un réservoir d'eau, et reçoivent un mouvement alternatif d'une petite machine de 5 chevaux. Les effets de ce ventilateur ont dépassé tout ce qui avait été fait comme ventilation jusqu'à ce moment.

Dans les deux séances des 26 novembre et 3 décembre 1851, on signale les avantages de la division des courants d'air pour réduire sa vitesse et ventiler convenablement les points les plus reculés de l'exploitation, et l'on appuie sur les inconvénients de la haute température qu'il faut avoir dans les puits de sortie d'air lorsque l'on emploie les foyers de ventilation. Le peu de force employé par l'appareil de M. Struvé, comparativement à l'usage du jet de vapeur, milite fortement en sa faveur, et parmi ses avantages on signale encore celui-ci, c'est que l'on s'aperçoit de suite des obstacles imprévus qui peuvent arrêter la circulation de l'air dans la mine, parce que la machine s'arrête naturellement par l'effet de la résistance que rencontre le courant d'air.

On cite l'usage des foyers comme produisant de très bons effets dans les mines du Nord, et l'on présente le danger résultant de l'inflammation des gaz au contact des foyers comme plus idéal que réel; mais on reconnaît ce-

---

(1) L'invention remonte à 1846.

pendant que l'emploi d'un moyen mécanique simple et efficace mérite toute l'attention des exploitants. On a essayé les ventilateurs à force centrifuge pour envoyer de l'air neuf dans les travaux, mais ils employaient trop de force.

Les difficultés rencontrées jusqu'ici dans l'usage des moyens mécaniques paraissent avoir tenu à la trop faible dimension des soupapes; il faut les faire très grandes, fort légères, et l'on peut diminuer ainsi d'une manière considérable la puissance des moteurs. Des machines construites sur le même principe que celles de M. Struvé ont alors donné de meilleurs résultats pour la ventilation des hôpitaux, des navires d'émigrants, etc.

Quelques orateurs, tout en reconnaissant l'importance des grands passages d'air à grande section, préfèrent la ventilation naturelle à la ventilation mécanique, lorsque, toutefois, l'exploitation de la mine peut être disposée pour obtenir cet effet; dans le cas contraire, le ventilateur de M. Struvé leur paraît être un excellent appareil. On insiste de nouveau sur la nécessité d'avoir toujours deux puits dans une exploitation, dont l'un aboutit aux travaux les plus profonds, et l'autre aux travaux supérieurs, de manière que les gaz ne puissent jamais s'accumuler dans la mine.

Les partisans du jet de vapeur signalent son efficacité dans certains cas et sa supériorité sur les foyers, mais ils ne donnent aucun renseignement sur la dépense qu'entraîne cette méthode.

La séance se termine par un exposé des avantages que présente la ventilation mécanique pour purifier une mine après une explosion : alors il serait très dangereux d'allumer le foyer au fond du puits. Avec la ventilation mécanique, on peut déterminer facilement un courant d'air très rapide, qui purge en très peu de temps tous les travaux des gaz méphitiques qu'ils peuvent contenir.

Enfin, dans la séance du 10 octobre 1850, la discussion continue sur le même sujet.

Les partisans du jet à vapeur reviennent sur cette application, dont un des avantages est de produire un courant continu, sans pulsation aucune; mais, pour en obtenir de bons effets, il faut le faire agir plutôt en bas qu'en haut des puits, et de manière à former un cône de vapeur. Ils citent ensuite quelques houillères où le jet de vapeur produit d'excellents résultats avec une très faible dépense.

Cette opinion est de nouveau combattue. La ventilation mécanique ne produit de pulsations que dans le cas où les soupapes sont lourdes ou trop petites, et les avantages qu'elle présente dans la pratique par son efficacité, par la rapidité de son action, doivent la faire préférer, soit aux foyers, soit à l'usage du jet à vapeur.

Dans le résumé de la discussion, on signale de nouveau le faible effet utile que peut produire la vapeur en l'employant sous la forme d'un jet pour donner le mouvement à une colonne d'air, et l'on établit que, la vitesse convenable à donner au courant d'air dans le puits d'aspiration étant au moins de $5^{m}.40$ par seconde, il faut, pour obtenir cette vitesse, une colonne d'air motrice de $41^{m}.00$, et qu'en employant des foyers ou un jet de vapeur au fond de la mine, ce résultat ne peut pas être obtenu sans élever la température à un degré inapplicable dans des puits cloisonnés ou dans des puits

servant à l'extraction des charbons ou au passage des hommes. On montre ensuite que le jet de vapeur appliqué au sommet du puits, et n'agissant qu'en raréfiant l'air, est trop coûteux pour être généralement employé, tandis qu'en donnant au cylindre de l'appareil de M. Struvé une section égale à celle des passages de l'air dans la mine, il n'exige qu'une force d'un cheval et $0^{m}.85$ par mètre superficiel du puits d'aspiration.

Enfin, il paraît démontré que dans la houillère d'Englesbuch, où l'on emploie cette machine depuis deux ans, la pulsation du courant d'air n'est pas perceptible à plus de 90^{m} de l'appareil, et qu'il ne peut, par conséquent, en résulter aucun inconvénient dans les travaux.

REPRISE DE LA DISCUSSION SUR LES PONTS SUSPENDUS.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur la construction des ponts suspendus.

M. LE RAPPORTEUR lit la partie de son travail dans laquelle il indique les moyens généralement employés pour la confection des chaînes en fer forgé, en fil de fer et en lames superposées, ainsi que les dispositions particulières qu'il faut prendre pour l'établissement des tiges verticales. Il indique aussi quelles sont les dispositions qu'il convient de prendre pour garantir de l'oxydation les fers des ponts suspendus.

UN MEMBRE fait remarquer que la construction des chaînes en barres ou fer laminé n'est pas indiquée dans le rapport. Il est vrai, dit-il, qu'en France ce système n'est pas employé; mais, en revanche, il l'est beaucoup en Angleterre. Ce système est préférable à celui des chaînes en fer forgé, dont les soudures ne présentent pas toutes les conditions de solidité désirables, le fer pouvant se brûler à la forge, tandis que, dans le système anglais, les barres plates sortent du laminoir avec la forme voulue pour se prêter à tous les assemblages.

UN MEMBRE. Les chaînes en fil de fer ne doivent pas être condamnées. Leur valeur dépend tout entière du mode de fabrication adopté. Le rapport n'est peut-être pas assez explicite à cet égard, et il eût été désirable qu'il indiquât des conditions techniques de fabrication au moyen desquelles les chaînes en fil peuvent présenter des avantages. On aurait pu recommander, par exemple, la galvanisation préalable des fils comme un moyen d'éviter l'oxydation, et, par suite, l'affaiblissement et la rupture des chaînes.

M. LE RAPPORTEUR répond à ces diverses objections. La commission, dit-il, n'a pas parlé de chaînes en barres laminées, parce qu'elles ne sont pas employées en France. Dans une prochaine réunion, la Commission s'occupera de ce système, qui est employé en Angleterre et en Allemagne.

Quant au mode de fabrication des câbles en fil de fer, la Commission a pensé qu'elle ne devait pas entrer dans des détails qui l'auraient entraînée trop loin, et qui sortiraient du cadre qui lui avait été tracé.

SÉANCE DU 2 MAI.

Présidence de M. Auguste Perdonnet.

STABILITÉ DES LOCOMOTIVES.

M. Yvon Villarceau dépose la quatrième partie de son mémoire sur les conditions de stabilité des locomotives en mouvement. Cette nouvelle communication indique les bases d'un système rationnel d'expériences à entreprendre pour déterminer les conditions les plus favorables à l'application des contre-poids, lorsqu'il y a impossibilité pratique de satisfaire à l'ensemble des conditions théoriques présentées dans les précédents mémoires.

ÉTUDES A FAIRE SUR LE DRAINAGE.

M. Calla a la parole pour une communication relative aux procédés de drainage.

Conduit à s'occuper de la question du drainage par l'étude d'une machine anglaise employée pour la fabrication de tuyaux en terre dit *drains*, pour l'assèchement des terres humides, M. Calla a pensé qu'il serait convenable d'éveiller à ce sujet l'attention des membres de la Société et d'engager ceux d'entre eux dont le temps est libre à s'occuper d'une question dont l'étude est facile, et pourrait employer d'une manière utile et lucrative ceux qui voudraient s'y adonner.

Le drainage s'applique avec de grands avantages à l'amélioration des sols arables reposant sur un sous-sol imperméable; il consiste dans l'exécution de rigoles formées avec des empierrements recouverts de terre végétale, que l'on cultive pour ne pas perdre de terrain, et destinés à l'écoulement des eaux.

Dans les localités qui ne présentent pas les matériaux nécessaires pour former ces empierrements, on les a remplacés par des tuyaux en terre cuite qui ne joignent qu'imparfaitement.

Ce procédé, établi sur une grande échelle, peut s'appliquer avec succès, non seulement à l'assainissement des pièces de terres particulières, mais même à l'assainissement de contrées tout entières, par l'établissement de canaux et d'un système complet d'épuisement.

C'est principalement sous ce point de vue qu'il est utile de s'en occuper et qu'il serait désirable de voir prospérer les compagnies qui commencent à se former en France à l'imitation des compagnies déjà formées en Angleterre, où le parlement a affecté aux améliorations agricoles une somme de

50 millions, remboursables par annuités, et dont une grande partie a été déjà employée à l'établissement des procédés de drainage.

M. Calla engage ceux des membres de la Société qui en auraient le loisir à étudier cette question, à faire, soit dans le Bulletin de la Société d'encouragement, soit aux sources où il a puisé, toutes les recherches qu'elle comporte, et à les communiquer à la Société; et il est lui-même disposé à le faire, si d'ici à quelque temps il n'a pas été devancé.

PONTS SUSPENDUS.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur les ponts suspendus.

M. LE RAPPORTEUR donne lecture de la partie de son rapport relative aux choix à faire parmi les différents systèmes de câbles en fer forgé, en fer laminé, en lames et en fils de fer.

Il conclut à l'emploi des câbles en fils de fer pour les parties extérieures, combinés avec l'emploi de barres d'amarre en fer forgé pour les parties engagées dans les maçonneries, en y joignant la condition que toutes les parties soient établies dans des galeries d'assez grande section pour que le système de suspension puisse être en tout temps visité dans toute son étendue.

UN MEMBRE exprime sa préférence pour les câbles en lames superposées. Il pense qu'il est plus facile d'obtenir avec ce système une tension uniforme qu'avec des câbles en fils, dont les éléments sont soumis à des irrégularités de tension provenant de la dilatation et de l'évasement du faisceau à la rencontre des fléaux.

L'emploi de barres en fer bien corroyé, composées d'un certain nombre de lames superposées, lui paraît excellent, surtout en appliquant les procédés anglais et allemands qui évitent les soudures.

UN MEMBRE parle dans le sens contraire. Il trouve que les ponts en barres de fer forgé sont beaucoup trop lourds. Le trop grand poids des chaînes occasionne des dépenses considérables et des difficultés sérieuses au levage. Ce poids augmente la résistance que l'on doit demander au fer, et cet excès de résistance augmente le poids, ce qui fait tourner le constructeur dans un cercle vicieux.

L'inégalité de tension des fils de fer n'est pas autant à craindre qu'on l'a dit. Le mode de montage met sensiblement les fils dans les mêmes conditions, et des expériences ont constaté que la résistance du faisceau est, à peu de chose près, la même que celle des éléments qui la composent.

La seule objection qu'il semble possible de faire à l'emploi des fils est l'oxydation; mais M. le rapporteur a répondu suffisamment à cette objection en conseillant l'emploi des fils de fer pour les câbles de suspension, et celui des fers forgés pour les chaînes de retenue, dont le poids n'a pas d'importance

UN MEMBRE explique qu'en Angleterre et en Allemagne les barres en fer laminé à l'usage des ponts sont fabriquées d'une seule pièce, de 6 à 7 mètres de longueur, et portent à chaque bout un renflement donné par le laminoir lui-même, pour ne pas affaiblir la partie de la barre dans laquelle se perce le trou du goujon.

M. le rapporteur appuie la préférence qu'il accorde à l'emploi des câbles de fils de fer à l'extérieur en rappelant les expériences faites après l'accident du pont d'Angers sur le câble rompu, expériences qui ont prouvé qu'après 12 ans de durée, ces fils n'avaient subi aucune altération; il cite également les expériences faites en 1849 sur les fils du pont de Tournon, lors de sa reconstruction, lesquelles ont aussi prouvé qu'après une durée de 25 ans les fils n'avaient rien perdu de leur force.

UN MEMBRE fait observer que, pour avoir confiance dans le résultat de ces expériences, il faudrait savoir exactement dans quelles conditions et de quelle manière elles ont été faites.

UN MEMBRE répond que, pour ce qui est du pont d'Angers, les renseignements qui sont venus à sa connaissance le portent à croire qu'elles ont été faites avec soin, et que, pour les expériences du pont de Tournon, il peut garantir qu'elles ont eu lieu avec une extrême rigueur et les précautions les plus minutieuses par un ingénieur de l'état, dont les dispositions n'étaient rien moins que favorables aux constructeurs : on peut, dès lors, avoir en lui la plus grande confiance.

UN MEMBRE ne voit aucune raison pour employer les barres de fer forgé dans les amarres, attendu que ces barres sont trop susceptibles de s'altérer. Il cite le pont d'Antin et le pont d'Arcole, dont les barres d'amarre en fer forgé auraient vu leur diamètre diminuer de 5 millimètres par l'effet de la rouille.

M. LE RAPPORTEUR dit que les ponts dont il s'agit ne peuvent être cités pour exemples, attendu que les bares d'amarre n'avaient jamais été entretenues, et que l'oxydation dont on parle ne se serait pas produite si l'on s'était préoccupé du soin de les entretenir. Le même effet aurait inévitablement eu lieu sur des fils de fer abandonnés sans entretien à l'action de l'humidité, et les résultats eussent été désastreux si les fils avaient été attaqués aussi violemment que les barres dont on a parlé.

Au pont de Bercy, les barres n'ont perdu qu'un millimètre de leur diamètre, et seulement encore sur une longueur de 1 mètre au dessous du sol.

UN MEMBRE fait remarquer que la visite des câbles en fils de fer du pont suspendu de la Réforme a prouvé que ces câbles n'avaient été nullement atteints par l'oxydation. Il n'a jamais vu de pont suspendu autre que celui d'Angers crouler par suite de la rupture d'un câble en fils de fer, et encore conteste-t-il que ce soit par la rupture de ce câble que le pont est tombé.

La chute des ponts en chaînes, au contraire, est ordinairement due à la rupture des goujons transversaux, dont on ne s'occupe pas assez.

Il reproche aux câbles en lames de ne pouvoir recevoir de peinture à l'intérieur, et il ajoute que les expériences n'ont constaté qu'une différence de 1/150e entre la résistance des éléments d'un câble en fils de fer et celle du câble entier.

UN MEMBRE n'admet pas qu'une barre en fer forgé puisse s'oxyder plus qu'un câble en fils de fer, qui présente à l'action de l'humidité une surface infiniment plus considérable que la barre. Il ne croit pas non plus que la différence de résistance entre un câble en fils de fer et ses éléments ne soit que de 1/150.

UN MEMBRE ajoute, que d'après les expériences de M. Leblanc, cette perte

est de 20 à 25 0/0, qui, jointe à une perte de 10 à 22 0/0 occasionnée par la forme curviligne du câble, réduit sa résistance à environ moitié de celle de ses éléments.

UN MEMBRE déclare accorder une grande confiance aux expériences de M. Leblanc. Une perte de 20 à 25 0/0 lui paraît naturelle; une différence de 1/150 n'est pas appréciable. Il demande à un ingénieur des ponts et chaussées, présent à la séance, de vouloir bien donner quelques renseignements sur les observations qu'il a pu faire dans la visite des différents ponts de Paris.

Il est répondu par un ingénieur étranger à la Société que les renseignements fournis précédemment sur l'oxydation des barres d'amarre des ponts d'Arcole et d'Antin sont exacts; mais il ajoute que les câbles en fils de fer contiennent aussi de la rouille dans leur intérieur.

UN MEMBRE pense que l'on s'est trompé en croyant trouver de la rouille dans l'intérieur des câbles en fil, si ces derniers avaient été entretenus, peints, entourés de chaux grasse en pâte molle que l'on n'aurait pas laissé dessécher.

Il a visité dans la campagne dernière, avec MM. les ingénieurs de l'état, la plupart des ponts construits sur la Loire; il les a tous trouvés en parfait état de conservation, partout les câbles étaient restés entourés de chaux grasse à l'état de pâte molle, et n'avaient subi aucune altération après l'enlèvement de cette chaux. Les câbles, ouverts à l'intérieur par la suppression de quelques ligatures et l'introduction d'un coin en fer, ont présenté une poussière brune que l'on aurait pu prendre pour de la rouille, mais qui n'était réellement formée que par la dessiccation de la peinture, laquelle contient toujours de l'ocre, facilement réductible en poudre d'un jaune brun.

Quant aux fils eux-mêmes, grattés légèrement de manière à enlever la peinture qui les recouvrait, ils se sont présentés aussi intacts qu'au moment de la fabrication des câbles.

UN MEMBRE exprime le désir qu'il soit introduit dans le rapport quelques renseignements sur l'influence des oscillations.

Il lui est répondu que les oscillations occasionnées par la marche ne sont pas verticales, mais horizontales, et qu'elles n'influent par conséquent en rien sur les câbles.

UN MEMBRE combat cette opinion. Il suffit, dit-il, de marcher sur la passerelle de Constantine pour s'assurer que les oscillations sont verticales. Il ajoute que les oscillations se produisent plus facilement sur les câbles en fil de fer, qui forment une courbe régulière, que sur les câbles en barres de fer forgé, qui forment un polygone.

SÉANCE DU 16 MAI.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

Le président donne lecture d'une lettre adressée à la Société par un de ses membres, M. Hubert, dans laquelle il donne les détails suivants sur l'Exposition universelle de Londres.

L'exhibition anglaise, en y comprenant l'Inde et ses autres colonies, prend à elle seule un peu plus de la moitié du vaste bâtiment de Hyde-Park.

La France a ensuite la plus grande place ; puis viennent les autres nations, à peu près dans l'ordre de leur importance.

Il est, du reste, impossible de comparer la valeur ou le mérite des différentes expositions, car la partie anglaise, entièrement terminée, est brillante d'ordre et de propreté, tandis que la partie française et celle des autres nations sont encore encombrées de caisses, de paille et de poussière: c'est un désordre qui n'a rien de séduisant et devant lequel on s'arrête peu.

La Commission de Paris ne s'est pas bien rendu compte de l'espace donné à la France ; elle a refusé des produits qui rempliraient avantageusement certaines salles, et aujourd'hui on écrit de Londres pour les avoir. On les demande avec d'autant plus d'instance, que l'on s'aperçoit, mais malheureusement trop tard, que, si nos industriels l'avaient bien voulu, ils eussent lutté avantageusement avec l'Angleterre, et cela même pour les machines exposées par elle, et qui n'ont, en général, rien de très remarquable.

La cérémonie d'inauguration a été faite avec toute la pompe d'une cour élégante, entourée de l'aristocratie anglaise.

Aussitôt achevée, et quand on a pu circuler, je suis allé tout d'abord au quartier des machines.

Vingt-deux locomotives ont été exposées : quatorze à cylindres intérieurs, six à cylindres extérieurs.

Les plus remarquables sont :

1° Une locomotive, *Lord of the Isles*, à cylindres intérieurs, pour grande voie, de $2^m,50$, construite dans les ateliers du Great-Western, pour le service de cette ligne.

La chaudière présente 171^{mq} de surface de chauffe.

Cette machine a huit roues; les roues motrices, placées les secondes à partir de la boîte à feu, ont $2^m,50$ de diamètre. Cette machine est construite avec soin pour l'exposition.

2° Une locomotive Crampton, pour petite voie, de $1^m,55$, construite avec le plus grand soin et avec luxe pour l'exposition, est, je crois, la plus grande machine en ce genre ; sa chaudière présente 207^{mq} de surface de chauffe ; elle a les cylindres à l'extérieur, et, à très peu de chose près, les mêmes dispositions que les dernières machines faites pour le chemin de fer

du Nord par MM. Cail et Ce, sur les dessins de Crampton. Elle a été construite pour le London et North-Western railway par Bury, Curtle et Kennedy.

3o Une locomotive Crampton (dernier brevet), à cylindres intérieurs; elle diffère en outre des machines ci-dessus :

Par l'arbre moteur ou des manivelles, qui ne porte pas les roues motrices; celles-ci sont montées sur un arbre spécial droit; deux longues bielles de couplage extérieures transmettent le mouvement de l'arbre moteur à manivelles aux roues motrices;

Par le mode de suspension : les deux roues d'avant sont très rapprochées et portent sur des ressorts longitudinaux; les roues d'arrière, près la boîte à feu, portent sur un ressort transversal placé en avant des portes du fourneau et au dessous d'elles, sous une plaque en tôle.

Il y a deux foyers séparés par un diaphragme, ayant une ouverture à la partie postérieure du fourneau pour égaliser le tirage. L'arbre à manivelles, ne portant plus les roues motrices, a de plus petites dimensions que dans les autres machines de même force.

Les roues motrices ont 2 mètres de diamètre; la chaudière présente 171 mètres carrés de surface de chauffe.

Cette dernière machine a été construite par Stephenson, de Newcastle, pour un chemin à petite voie. Elle n'a pas été faite pour l'exposition : aussi n'est-elle pas aussi polie que les autres.

Les autres machines ne présentent rien de nouveau, du moins à un premier examen fait à la hâte.

On remarque un grand wagon à voyageurs de 12 mètres de longueur, porté sur quatre roues, contenant des places de 1re et de 2e classe; il est établi avec plus de luxe que les voitures ordinaires des chemins de fer anglais.

MM. James, Watt et Ce, de Londres et Birmingham, ont exposé une très belle machine de 700 chevaux, à basse pression, à quatre cylindres horizontaux, placés symétriquement aux quatre coins de l'appareil. C'est la pièce la plus importante de l'exposition; elle est destinée à un bateau à hélice.

Les cylindres ont 1 mètre de diamètre; la course est de 1 mètre, et la longueur des bielles de $1^{m},90$; les coussinets des menottes ont $0^{m},25$, et $0^{m},13$ (double) de largeur; les tourillons $0^{m},25$.

D'après ses dimensions, on peut conclure que cette machine doit fonctionner à grande vitesse et transmettre directement le mouvement à l'hélice.

Les pompes à air sont au centre, et placées obliquement; elles reçoivent le mouvement directement de l'arbre principal, qui est coudé; le constructeur n'a pas craint de leur donner presque la même vitesse que celle des pistons à vapeur.

A côté de la machine James Watt et Ce, il s'en trouve une autre à deux cylindres, à grande vitesse, pour transmission directe à une hélice; elle a été construite par MM. Stolhert Slanghtes et Ce, de Bristol, d'après le brevet de Edwards Slanghtes. Cet ingénieur a mis une transmission de mouvement

pour les deux pompes à air, de façon à réduire la vitesse de celle-ci au quart de celle des pistons à vapeur.

MM. Penn et Ce, de Greenwich, ont exposé une de leurs petites machines oscillantes à basse pression pour bateaux, et en outre une machine de bateau d'une disposition nouvelle, à deux cylindres.

Les cylindres sont placés horizontalement; les pistons sont annulaires et liés à des tubes qui traversent les couvercles par deux presse-étoupes; les bielles pénètrent dans ces tubes, de sorte que l'arbre moteur est très rapproché des cylindres à vapeur; en face, sur la même plaque de fondation, se trouvent deux pompes à air dans un condenseur, et deux pompes alimentaires; ces quatre pompes sont liées directement aux pistons à vapeur par quatre tiges qui traversent les couvercles.

Tout l'appareil ainsi ramassé tient nécessairement très peu de place; il est aussi destiné à agir directement sur une hélice. En voyant ces machines, surtout celle de Watt, on est effrayé en pensant à la vitesse que devront prendre les pistons à vapeur, et surtout les pompes à air.

Dans la même salle, on trouve une chaudière à cuire le sucre dans le vide, une presse hydraulique d'une grande puissance pour essayer les fers de suspension des ponts, un marteau pilon, une arcade en fonte d'une forme élégante pour passerelle, un système d'attache et de retenue pour voûtes droites en briques, deux jolies grues en fonte, des signaux de jour et de nuit pour les chemins de fer, et deux machines à faire des briques à jour, ainsi que des tuyaux de drainage; enfin des tuyaux en fonte pour conduites d'eau et de gaz qui n'ont que 14 millimètres d'épaisseur pour 1 mètre de diamètre, et 16 millimètres pour 1^{m},30.

Les deux salles de machines en mouvement renferment des appareils nombreux et variés; les métiers à filer et à tisser y dominent; ils sont tous d'une exécution parfaite.

Les métiers à la Jacquart sont nombreux et ont reçu en Angleterre quelques nouvelles dispositions qui aideront à les propager encore davantage.

Les machines fonctionnent par groupes, ayant chacun un moteur particulier; ce sont de petites machines à vapeur, qui puisent à un générateur commun placé en dehors du bâtiment de l'exposition.

Il y a aussi environ trente machines à vapeur de petite force dont en général les dispositions ne sont pas très heureuses; les machines rotatives surtout sont presque toutes très bizarres, et il y en qui sont non seulement très mauvaises, mais encore très mal exécutées.

Ce qu'il y a de très remarquable dans ces deux salles, c'est une presse monétaire par A. Maudslay, qui a beaucoup copié notre compatriote, M. Tonnelier; l'exécution en est d'ailleurs parfaite. Cette presse est mise en mouvement par une petite machine à vapeur à deux cylindres dont les dispositions portent le cachet d'un habile ingénieur et d'un praticien exercé, de Maudslay, en un mot, et dont l'exécution ne laisse rien à désirer.

Cette petite machine à vapeur met en mouvement cinq petits modèles des cinq systèmes de machines différentes que Maudslay a adoptés pour bateaux, depuis la machine-mère à balanciers et bâtis ogivals jusqu'aux dernières machines oscillantes, et celles à pistons portant plusieurs tiges.

MM. Maudslay et compagnie ont complété leur exhibition par une grande bielle de bateau, spécimen de leurs grands travaux.

Dans la même salle se trouve une machine assez ingénieusement disposée pour manœuvrer une grue à charger et à décharger des colis de toute nature, d'une manière prompte, facile et économique, au moyen de la pression d'un colonne d'eau.

Il y a un assez grand nombre de pompes à incendie, dont quelques unes sont très puissantes, et sur lesquelles on peut appliquer un grand nombre de travailleurs : il y a là progrès et études fructueuses à faire.

Robinson a exposé une très belle machine oscillante faisant mouvoir un moulin à sucre de grandes dimensions.

La Commission anglaise a donné aux machines et instruments de l'agriculture une place très considérable et qui a été bien remplie.

Les machines à battre et les semoirs se présentent sous toutes les formes.

Pour mettre en mouvement ces appareils nombreux et variés, répandns sur toute la surface d'une exploitation, on fait beaucoup usage de machines à vapeur locomobiles ; j'en ai compté, dans cette salle, dix-neuf modèles différents, dont quelques uns sont très convenablement et même élégamment disposés, ce qui prouverait que l'usage de ces machines est très répandu. Elles s'appliquent également à des pompes et autres machines hydrauliques pour les épuisements et les irrigations.

Il y a trois machines-toupies pour l'extraction du sucre, semblables à peu près à celles qui sont en usage en France.

Les machines-outils pour la fabrication des machines sont très bien exécutées et présentent quelques perfectionnements utiles.

J'ai remarqué un modèle de machine à draguer, copié, avec perfectionnements, sur les anciennes machines employées dans le midi de la France au curage des ports.

La grande galerie longitudinale du Palais de Cristal contient de fort belles choses, dont quelques unes intéressent l'ingénieur.

Telles sont :

Le modèle d'exécution du grand brise-lame de Plymouth, le plus grand ouvrage, je crois, qui existe en ce genre ;

Un très beau phare au 10e ;

Le plan en relief de la ville et du port de Liverpool, avec ses trente-deux docks, ses bassins de carénage, ses cales de construction, ses innombrables navires, le tout exécuté avec beaucoup de soin, et supérieur à ce que nous avons dans le même genre aux Invalides ;

Plusieurs modèles de ponts tubes et de ponts suspendus, utiles à étudier ;

Le plan en relief de l'île de Wight ;

Des modèles de charpentes en bois, en fonte et en fer ;

Une écluse flottante et une cale de carénage également flottante, et que l'on peut immerger à volonté, en remplaçant par de l'eau l'air contenu dans les tubes en tôle dont elle est composée ; cette cale ou radeau est placée sous le navire : on aspire l'eau des tubes, et le navire est soulevé hors de l'eau pour le réparer. Ces derniers modèles fonctionnent dans un bassin plein d'eau.

Dans cette même grande galerie figurent des objets d'art et d'architecture;

De grandes fontaines monumentales en pierre et en fonte; il y en a une très grande, entièrement en cristal, d'un très bel effet;

Un modèle d'église d'une rare perfection d'exécution : il représente l'église de Saint-Nicolas de Hambourg, reconstruite par Georges-Gilbert Scott, architecte de Londres;

Deux beaux groupes de sculpture; .

Un kiosque rustique, imitant des branches de chêne, et exécuté en fonte, présentant certaines difficultés de moulage;

Une grande glace de $2^m,50$ de largeur sur $3^m,78$ de hauteur, richement encadrée, exposée comme spécimen des plus grandes glaces exécutées en Angleterre;

Des roues en bois dont la jante est d'un seul morceau courbé à la vapeur; et, parmi elles, une roue de $2^m,25$ de diamètre;

Des systèmes de freins pour voitures de chemin de fer;

Des mâts et vergues de navires qui sont faits en cinq ou six morceaux assez ingénieusement assemblés, puis frettés :

Telles sont les choses les plus remarquables de l'exposition.

Il est ensuite donné communication par M. Goschler d'une note sur le forage d'un puits exécuté par M. Kind à la houillère de Schœneck-Stiring, près Forbach (Moselle).

Il est ensuite donné communication par M. Love d'une note sur l'application de l'électro-magnétisme aux machines locomotives.

MM. Amberhier, Nichles et Cassal eurent l'idée de rechercher s'ils ne pourraient pas entretenir la partie inférieure des roues motrices en mouvement dans un état constant d'aimantation, ou, en d'autres termes, transformer les roues en électro-aimants à pôles mobiles. Pour mettre à exécution cette idée, MM. Amberger, Nichles et Cassal, imaginèrent d'entourer la partie inférieure de la roue motrice d'une bobine qui en suit tous les contours à une faible distance, et dans laquelle cette roue se meut librement comme auparavant. Pour démontrer qu'il y a un surcroît d'adhérence obtenu par ce moyen, ils placèrent, sur un petit plan incliné dont on variait la pente à volonté, un petit chariot dont les deux roues d'avant pouvaient être aimantées au moyen de deux bobines embrassant leur partie inférieure à une faible distance des rails; une corde s'enroulant autour de leur essieu allait se rattacher à un treuil situé à l'extrémité supérieure du plan incliné; à l'arrière, une deuxième corde attachée au châssis passait à la partie inférieure du plan sur une poulie de renvoi, et soutenait à son extrémité un certain nombre de rondelles en fonte, que le chariot, considéré comme moteur, devait entraîner dans son ascension sur le plan incliné. Les choses étant dans cet état, lorsque le treuil était mis en mouvement sans que la pile agît, l'adhérence naturelle étant insuffisante, le chariot restait en place, et ses roues tournaient sur elles-mêmes; mais, dès que le courant électrique était établi, l'adhérence nécessaire était obtenue, et le chariot franchissait rapidement le plan incliné.

Le moyen d'appliquer l'électro-magnétisme aux machines locomotives pour augmenter leur adhésion sans surcharge sur un plan incliné comme sur un plan horizontal était donc trouvé; mais il restait à voir si, sur une grande

échelle et avec un appareil peu encombrant et peu coûteux, on pourrait produire économiquement le degré d'adhérence nécessaire pour remplacer celle due au poids que l'on pourrait distraire des roues motrices d'une locomotive, soit en faisant des machines plus légères, soit en répartissant également sur les six roues le poids des locomotives actuelles. Pour cela, les inventeurs ont établi sur deux rails, formant un plan incliné à 20 centimètres par mètre, une paire de roues de locomotive de $1^{m},10$ de diamètre, à l'essieu desquelles sont attachées deux cordes passant sur une poulie de renvoi, et soutenant à leur extrémité un plateau destiné à recevoir des poids; deux autres cordes attachées aux extrémités des raies des deux roues vont s'enrouler sur un treuil placé à l'extrémité du plan incliné, de telle sorte que le tirage s'exerce parallèlement au plan et tangentiellement aux roues. On voit que c'est à peu près la répétition en grand du petit appareil précédemment décrit. On refit avec celui-ci la même expérience, c'est-à-dire que, le plateau étant suffisamment chargé, les roues tournent sur place si les bobines qui les embrassent ne communiquent pas avec la pile; elles montent, au contraire, en traînant le plateau chargé dès que la communication est établie; mais cette fois on obtient les résultats suivants, qui ont une grande valeur pratique.

Par un temps bien sec, l'adhérence due au poids des roues, à celui de son bâtis et au frottement de ce dernier sur les rails, étant de 350 kilogrammes, l'adhérence supplémentaire obtenue au moyen de l'électro-magnétisme est de 450 kilogrammes.

Par un temps de brouillard, lorsque 100 kilog. suffisent pour vaincre l'adhérence des roues et les frottements, l'adhérence magnétique n'a perdu que 50 kilog.; une couche épaisse de suif étendue sur la roue a fait tomber l'adhérence magnétique de 400 kilog. à 280.

Ces résultats sont obtenus au moyen de deux bobines formées chacune d'un fil de cuivre d'un petit diamètre, de 250 mètres de longueur et de seize éléments, pouvant être renfermés dans une boîte de $1^{m},60$ de longueur sur $0^{m},50$ de largeur et $0^{m},45$ de hauteur.

On estime qu'en faisant agir deux piles pareilles sur deux paires de roues, on obtiendrait une adhérence magnétique de 1000 kilog., et que la dépense en acide et en zinc serait environ de 14 fr. pour dix heures de travail continu.

Enfin il importe de ne pas perdre de vue que l'adhérence magnétique est la même, quelle que soit l'inclinaison du chemin.

Tel est le point où en sont arrivés MM. Amberger, Nichles et Cassal.

La discussion s'engage sur cette note.

LE PRÉSIDENT fait observer que ce n'est pas pour augmenter l'adhérence des machines sur les fortes rampes que l'on a augmenté le poids des locomotives, mais pour les rendre plus puissantes. Même en employant le système dont il est question, il faudra toujours des machines lourdes et puissantes pour traîner de fortes charges.

UN MEMBRE ajoute qu'il ne faut pas s'exagérer les services que pourra rendre le système électro-magnétique appliqué aux machines locomotives. Sur le chemin de fer d'Orléans, on cherche à diminuer autant que possible e poids des machines; on n'a pu, toutefois, descendre au dessous de 22 o nnes, mais jamais on n'a manqué d'adhérence. Ce qui le prouve, c'est

qu'on n'a jamais couplé que quatre roues, alors qu'il eût été facile d'en coupler six, et d'obtenir ainsi plus d'adhérence.

En thèse générale, il est d'avis qu'il faut coupler les roues le moins possible. Pour gravir de fortes rampes, c'est surtout de la puissance qu'il faut donner aux machines ; l'adhérence qu'elles ont dans l'état actuel est suffisante.

LE MEMBRE qui a la parole profite de la circonstance qui se présente pour dire un mot de la position du centre de gravité des machines locomotives.

On a cru jusqu'à présent qu'il était indispensable de placer le centre de gravité des machines locomotives beaucoup en avant de l'essieu moteur. Cette règle n'a rien d'absolu. Parmi les machines en service sur le chemin de fer d'Orléans, les machines Cavé ont leur centre de gravité à 3 ou 4 centimètres en avant de l'essieu moteur, celles de Derosne et Cail et de Gouin à 17 centimètres en arrière, et celles que le chef actuel de la traction a fait construire lui-même à 3 millimètres du centre de l'essieu moteur. Malgré ces différences de position du centre de gravité, toutes les machines du chemin d'Orléans ont une stabilité complète. La répartition de la charge est donc une question de disposition qui n'a pas par elle-même un grand intérêt.

Revenant au système qui a fait l'objet de la note en discussion, il conclut que, pour les voyageurs et pour les freins, l'emploi de ce système peut avoir quelques avantages, mais il ne le croit pas destiné à rien changer à l'exécution des tracés de chemin de fer.

L'AUTEUR de la note persiste dans cette opinion que le système électro-magnétique rendra de grands services à l'exploitation des chemins de fer, en permettant de gravir de fortes rampes sans augmenter le poids des machines locomotives. Il s'appuie principalement sur ce fait que l'adhérence n'augmente, dans les circonstances actuelles, que très peu en proportion du poids de la machine, tandis que l'adhérence magnétique est invariable, quelle que soit l'inclinaison de la rampe.

UN MEMBRE combat cette opinion sur l'influence du poids des locomotives eu égard à l'adhérence, et émet des doutes sur l'augmentation d'adhérence que produira le magnétisme.

Les expériences qui ont été faites jusqu'à présent ne sont pas suffisantes, et il serait utile de les étendre davantage avant de faire de grandes dépenses qu'occasionneraient des essais sur un chemin de fer.

L'application régulière de ce système coûterait d'ailleurs fort cher, attendu que l'adhérence ne peut être produite que par d'énormes courants, qui, mis en communication avec la terre, même par de mauvais conducteurs, se perdraient facilement, à cause de la multiplicité des points de contact, comme il arrive dans les télégraphes électriques, si gravement influencés par les variations atmosphériques.

La preuve de ces pertes se trouve même dans les expériences de MM. Amberger, Nichles et Cassal, qui ont vu les effets diminuer sensiblement sur des rails mouillés ou couverts d'un corps gras à cause de la communication établie avec le sol.

Il faudrait expérimenter sur des longueurs de rails beaucoup plus considérables que celles qui ont servi jusqu'à présent.

Dans le cas de réussite du système, son emploi permettra de traîner de

plus lourdes charges qu'aujourd'hui ; les trains pourront être de 500 tonnes, de 1000 tonnes ; mais on ne diminuera pas pour cela les poids que devront supporter les rails, et l'on ne modifiera pas l'exécution des chemins de fer.

L'AUTEUR de la note répond que l'action d'un télégraphe électrique ne peut être comparée avec celle de l'électro-aimant dont il est question. Il n'y a pas ici contact de l'électricité avec la terre ; c'est la roue qui, à distance, est transformée en un aimant qui ne perd pas de sa force par la longueur du fer sur lequel il vient s'appliquer.

UN MEMBRE (le préopinant) réplique que l'appareil est le même que celui employé pour le télégraphe électrique, avec lequel le courant se perd, même sans contact. L'action de l'électro-aimant n'est pas absolue ; c'est celle d'un courant, qui, pour être maintenu, exige la dépense d'une certaine quantité de matière.

UN MEMBRE demande à quelle vitesse on a fait marcher les roues sur les rails. Il pense qu'à la vitesse ordinaire des chemins de fer, la portion de la roue qui s'approche du rail n'a pas été aimantée.

L'AUTEUR de la note répond que la vitesse des expériences était faible, mais que la roue est aimantée de chaque côté de son point de contact avec le rail, et que, la vitesse de l'électricité étant beaucoup plus grande que celle de la machine, il ne croit pas que les craintes dont on parle soient fondées. Il persiste à demander qu'une expérience en grand soit tentée.

La discussion est close.

SÉANCE DU 6 JUIN 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

M. le président donne lecture d'une lettre de M. Lechatellier, ingénieur en chef des mines, dans laquelle celui-ci rappelle qu'en proposant les règles à suivre pour équilibrer les différents systèmes de machines locomotives, il a conseillé, pour les machines à marchandises ou mixtes à cylindres intérieurs, de décaler les manivelles d'accouplement d'un angle qui doit être calculé pour chaque cas particulier, mais qui est d'environ 18 à 20°, de manière à tenir compte du rapport des écartements des pièces entre elles. Tout récemment M. Lavalley lui a fait remarquer que cette disposition présentait un inconvénient très sérieux qui doit empêcher de l'appliquer. En effet, les deux manivelles d'accouplement, qui faisaient entre elles un angle de 90°, ne font plus qu'un angle de 50°, et, par suite, lorsqu'une bielle est au point mort, l'autre est encore très inclinée sur la manivelle, et elle supporte un effort très considérable pour transmettre à l'essieu accouplé la part d'action motrice qui lui est afférente ; il est essentiel, par suite, de maintenir à angle droit les deux manivelles d'accouplement, et c'est seulement par des contre-

poids additionnels qu'on doit chercher à réaliser un équilibre complet, comme dans les machines à cylindres extérieurs. — Le décalage de la roue ne doit être pratiqué que pour les machines à cylindres extérieurs, à roues indépendantes.

CRISTALLISATION DU ZINC.

Il est ensuite donné communication d'une note de M. Huet sur la cristallisation du zinc par M. Germain, ingénieur, chargé de la fabrication à l'usine de Maresnes.

La calamine est grillée dans des fours à réverbère, chauffés par les chaleurs perdues des fours belges à réduction. C'est dans ces fours que l'on obtient des cristaux, dans les circonstances suivantes :

On place 18 kilogr. de zinc dans une lingotière, que l'on introduit dans un four à réverbère chauffé au rouge; on ferme ensuite le four, de manière à avoir le refroidissement le plus lent possible. Au bout de quarant-huit heures le four est froid, et le métal présente une masse cristallisée.

Ce sont des prismes droits à six pans. Quelques uns de ces cristaux ont jusqu'à 4 millim. de hauteur; le diamètre de la base est de 2 millim.

Dans les premiers essais tentés par M. Germain, le refroidissement fut opéré en sept ou huit heures; la cristallisation était parfaitement déterminée : c'était une masse de petites aiguilles dont la forme n'était cependant appréciable qu'à la loupe. A mesure que le refroidissement s'opérait plus lentement, la grosseur des cristaux a augmenté jusqu'aux dimensions indiquées plus haut.

M. Germain continue ses expériences, et espère arriver à des cristaux plus gros encore.

EXPOSITION DE LONDRES.

M. Hubert communique de nouveaux renseignements sur l'exposition universelle de Londres.

MACHINES DE BATEAUX A VAPEUR.

MM. Wast Slanghter et Penn ont exposé chacun une machine de bateaux à vapeur à grande vitesse et à transmission directe; ils sont parvenus ainsi à présenter des machines puissantes sous un petit volume : c'est là que sera le grand perfectionnement, si les résultats sont satisfaisants.

En effet, la machine de 700 chevaux de Watt, estimée à vue d'œil, ne doit pas peser plus de 60 à 80 tonnes, tandis que la dernière machine construite à Indret pour le *Napoléon* pèse au moins quatre fois plus. La grande roue de transmission au pignon de l'hélice montée sur ce dernier navire pèse seule, avec son arbre, 30 tonnes.

La principale difficulté à vaincre, dans les machines à grande vitesse pour bateaux, est l'établissement des pompes à air, dont on a réduit jusqu'ici la vitesse autant que possible, pour éviter les chocs.

MM. Watt et compagnie n'ont pas craint d'aborder la difficulté. Leurs pompes à air, dont l'axe est incliné à 45°, auront une vitesse égale aux trois cinquièmes de celle des pistons à vapeur.

MM. Slaughter n'ont pas été aussi hardis: ils ont placé leurs pompes à air verticalement, et une transmission de mouvement leur a donné une vitesse égale au quart seulement de celle des pistons à vapeur.

Mais MM. Penn et compagnie ont été plus audacieux: leurs pompes à air sont placées horizontalement, et les pistons des pompes à air sont liés par des tiges aux pistons à vapeur, de façon qu'ils auront la même vitesse.

M. HUBERT ignore comment sont disposés les clapets; mais il est probable que les pistons des pompes à air sont pleins, et que des clapets obliques aux extrémités des cylindres en font des pompes à double effet. On évitera par là en partie l'inconvénient résultant du mouvement des pistons dans un milieu ayant des densités différentes.

BRISE-LAME DE PLYMOUTH.

Le brise-lame de Plymouth est un ouvrage remarquable. Un dessin, accompagné d'une légende, donne tout le secret de la solidité de cet appareil et de sa construction. Cette légende indique que les enrochements sont composés exclusivement de gros blocs, dont les plus petits cubent environ 3 mètres cubes.

Le phénomène de l'instabilité des enrochements était connu de M. Hubert par une observation qui lui est personnelle.

Après une tempête, il avait été visiter les débris d'un navire qui s'était perdu en avant du brise-lame de Cette, et il avait remarqué qu'un câble d'ancre se trouvait enchevêtré au milieu des blocs des enrochements et engagés sous eux.

Il devenait donc évident que les blocs d'enrochements du brise-lame, qui ne cubent guère qu'un mètre en moyenne, étaient mis en mouvement pendant les tempêtes, et que, par suite, les talus devaient s'étendre, déchausser les fondations et produire des affouillements. C'est, en effet, ce qui avait eu lieu, et c'est ce qu'il a vérifié par des sondages.

La règle est donc certaine, et si l'on veut des talus très inclinés pour faire approcher les navires aussi près que possible, les blocs d'enrochement doivent cuber de 3 à 4 mètres, et leur volume ne peut être moindre que dans le cas seulement où l'on admet des talus très allongés.

MINÉRALOGIE.

La minéralogie occupe une place importance à l'exposition de Londres. On lui devait bien cela dans un pays dont elle constitue la principale richesse.

Des échantillons de toutes sortes sont établis avec profusion; mais la houille domine.

Au milieu de tous ces échantillons se trouvent des modèles d'usine au

complet, avec tout leur matériel, leur outillage, et de petites figures qui exécutent toutes les opérations de la fabrication.

Ces exhibitions sont en général peu intéressantes au point de vue de l'étude, car elles ne représentent presque jamais les derniers perfectionnements des industries.

Ces tableaux offrent plus d'intérêt quand ils représentent les industries des mines, et, entre autres, l'extraction de la houille.

Il y a plusieurs grands cubes de bois dont la surface, plus ou moins accidentée, représente le sol d'une concession sur l'étendue de laquelle on voit çà et là de petits bâtiments en relief, flanqués de leurs cheminées, et qui indiquent des puits d'extraction.

Ces grands cubes sont coupés dans le sens vertical comme par des traits de scie, et, en en écartant les diverses parties, on peut juger en quelques instants de tout le système d'exploitation; on voit en coupe non seulement les différentes couches du terrain et de houille, mais leur direction, tantôt horizontale, tantôt verticale, et tantôt inclinée. On peut apprécier avec beaucoup d'exactitude et se rendre parfaitement compte des travaux du boisage, de ceux si intéressants du cuvelage, et enfin des méthodes employées pour les déblais et remblais qui s'exécutent dans les galeries au fur et à mesure que l'on avance dans l'extraction.

Outre ces blocs ou cubes coupés verticalement, il y a de grandes tables ou plates-formes qui sont des coupes horizontales montrant tout le travail des mines, les chemins de fer, les galeries, etc.

A côté des échantillons de houille on n'a pas omis les schistes, qui forment les toits et les murs des veines, et qui donnent les empreintes d'un grand nombre de végétaux, où la fougère domine, comme toujours.

Dans la grande galerie on a exposé un tronc d'arbe de 2 mètres de longueur et de 30 centimètres de diamètre, dont la pétrification est complète d'un côté, et diminue graduellement jusqu'à l'aubier du côté opposé, qui est pourri et qui tombe en poussière. Je ne crois pas qu'il existe un échantillon aussi curieux et aussi important de cette transformation.

Les produits métallurgiques présentent beaucoup d'intérêt. Les cuivres rouges, sous toutes les formes, sont de qualités tout à fait supérieures.

Pour les fers, outre les T simples et doubles, et les cornières, que l'on fabrique très bien, il y a des échantillons dont les barres présentent des sections polygonales de toutes sortes, des hexagones, des pantagones et des octogones.

INDUSTRIES DIVERSES.

La corderie, tant pour la marine que pour l'industrie, montre de très beaux échantillons; il y a des câbles plats pour les tambours des puits d'extraction des mines qui présentent quelques perfectionnements dans la manière dont les éléments sont cousus entre eux.

La salle livrée à la carrosserie anglaise est assez grande et entièrement occupée; on y remarque de très jolies voitures, d'une exécution soignée, surtout parmi les voitures basses à quatre roues.

Dans la grande galerie longitudinale on remarque une très grande grille en fonte, pour parc ou château, qui a non seulement du mérite comme œuvre d'art, mais encore comme produit de fonderie.

Il faut dire, du reste, qu'après les événements de février, beaucoup d'artistes français se sont expatriés, et sont allés mettre leur talent à la disposition des capitaux anglais.

Il en résulte que, parmi les pièces les plus remarquables de l'exposition anglaise en orfèvrerie, bronze, meubles, etc., plusieurs sont, par le fait, des produits français.

Les meubles et l'ébénisterie sont exécutés d'une manière très durable; c'est un peu le contraire de chez nous : il y a des meubles de grandes dimensions, pour de grands appartements, et dans lesquels la sculpture sur bois est prodiguée, mais en général avec peu de goût.

La marquetterie, comprenant les parquets de couleurs en bois, a fourni de beaux échantillons, très variés et en grand nombre.

Les laques de Chine se montrent en ouvrages de toutes sortes et de toutes dimensions; les peintures sont très belles.

Auprès de la grille monumentale dont nous venons de parler plus haut se trouve une grille en fonte d'un joli style, dont la base inférieure, qui sert de bassin, est en tôle gauffrée, imitant les formes et les moulures de la pierre de taille; on lui en donne d'ailleurs tout l'aspect par plusieurs couches de peinture, que l'on recouvre de sable blanc très fin avant qu'elles soient sèches. C'est un système à appliquer dans les pays où la tôle est commune et la pierre de taille rare.

Dans ce bassin, et au niveau de la surface de l'eau, se balancent des imitations de plantes et de fleurs aquatiques très bien exécutées; feuilles et fleurs sont aussi en tôle peinte, et sont maintenues par des tiges en fil de fer très flexibles fixées au fond : l'idée est heureuse.

L'art céramique, pour les besoins de l'agriculture, est très avancé en Angleterre, par suite de la rareté et du haut prix de la pierre. On fait en terre cuite des corniches, des moulures, des sculptures, des blocs de toutes formes et de toutes dimensions. Glasgow a fourni les échantillons les plus variés; cette ville a également exposé en ce genre des fragments de couleurs pour des carrelages imitant la mosaïque.

Les poteries de Londres pour la fabrication des produits chimiques sont dignes d'attention : il y a des serpentins d'un seul morceau qui, développés, auraient une longueur de 10 à 12 mètres.

Outre les terres cuites, il y a des produits cémentés en pierres factices, carrelage, mosaïque, etc., qui ne laissent rien à désirer. Il y a surtout un produit appelé serpentine qui imite parfaitement les granits polis et les plus beaux marbres.

L'industrie du carton-pierre a pris aussi de grands développements en Angleterre.

Les meubles en fer, tels que lits, tables, ne présentent rien de remarquable, et l'industrie parisienne fait mieux.

Il est impossible d'égaler le luxe de l'innombrable quantité de cheminées en fonte, fer et cuivre, qui garnissent les salles qu'on leur a livrées; elles sont toutes polies et garnies de leurs élégants tisonniers.

Il y a des cheminées des plus grandes dimensions, et elles sont en général établies avec un luxe inouï.

Mais dans tous ces appareils rien n'est fait pour économiser le combustible, à cause, sans doute, de son bas prix en Angleterre.

On voit très peu de ces élégants calorifères d'appartements, si répandus en France, et ceux qu'on y trouve sont presque tous d'invention française.

La papeterie et la reliure anglaise ont un cachet tout particulier. Parmi les papiers et les livres, on remarque une machine à faire des enveloppes de lettres. Cette machine, qui fonctionne loin de toutes les autres, sans que l'on sache comment le mouvement lui est donné, est assez ingénieusement disposée, sans pourtant présenter rien d'extraordinaire.

L'étage supérieur de l'exposition a été réservé pour les objets délicats et de peu de poids.

Parmi les objets qui peuvent intéresser l'ingénieur, on peut citer l'horlogerie, les instruments de mathématiques et de physique, et, entre autres, un grand nombre d'instruments et d'appareils de télégraphe électrique de tous les systèmes; beaucoup d'instruments d'astronomie et de marine, un grand nombre de constructions navales : vaisseaux, frégates, bâtiments légers, etc.

Les cuirs ouvrés et unis de Leeds sont en grande quantité et paraissent fort beaux, ainsi que les ouvrages en sellerie de Dublin et de Londres.

La chambre où sont les fourrures préparées à Londres est garnie de superbes échantillons.

Les mousselines de Glasgow, unies et façonnées, sont admirables de finesse.

Les popelines et les flanelles anglaises, qui sont fort belles et qui ont été jusqu'alors supérieures aux nôtres, ne tarderont pas à leur céder le pas.

L'Inde a envoyé beaucoup de ses produits, des tissus de toute espèce, des châles, des meubles en bois sculpté d'une rare perfection comme travail de patience.

Pour donner une idée de la richesse et de la variété de ses cultures, elle a envoyé des imitations de ses fruits et de ses fleurs ; puis enfin des costumes, des instruments de musique, armes, ustensiles de ménage, des modèles de voitures, de palanquins et de maisons.

Pour donner une idée plus complète de ses mœurs, de ses usages et des petites industries du peuple, ils ont un tableau en relief placé sur une immense table, représentant un paysage avec maisons; ce paysage est couvert de petites figures qui exécutent toutes sortes de travaux et d'ouvrages, depuis le jardinier labourant avec des outils d'une forme particulière jusqu'à l'ouvrier tissant les plus riches cachemires.

Les autres nations, sans en excepter même la Belgique et les Etats-Unis, ne présentent que peu d'intérêt pour l'ingénieur.

La France occupera donc le deuxième rang ; et il est bien prouvé que, si elle avait voulu, elle pouvait marcher de pair avec l'Angleterre, même pour les machines.

La Belgique a envoyé une grande machine de bateau qui ne présente rien de nouveau, dont l'exécution est médiocre et les proportions mauvaises. Il y a à côté deux locomotives très ordinaires.

Les Etats-Unis n'ont fourni en machines que des objets insignifiants.

L'Allemagne presque rien.

L'Autriche et la Prusse ont envoyé de très beaux meubles, des tissus et des produits divers.

L'Espagne, la Grèce, la Turquie, la Chine, les Etats Barbaresques et la Perse ont envoyé des produits du sol, et beaucoup de curiosités dans le genre de l'exhibition de l'Inde.

Il ne reste plus qu'à parler de la France; mais elle n'est pas prête!

Il est ensuite donné communication d'une note de M. Sautter sur les chemins de fer suisses.

M. Love donne de nouveaux renseignements sur l'application de l'électro-magnétisme aux machines locomotives.

Dans la séance précédente, un membre de la société a exprimé des doutes sur la quantité d'adhérence produite et sur le prix de revient; il a dit que, l'expérience ayant été faite sur une seule longueur de rails isolés, on pouvait prévoir ce qui arriverait sur une longueur indéfinie de rails, c'est-à-dire sur une voie de fer; le courant étant mis en rapport avec le rail par l'intermédiaire de la roue, et le rail lui-même étant en contact avec la terre par une multitude de points, il y aurait déperdition de fluide, comme dans un télégraphe électrique par un temps de brouillard ou de pluie, de sorte qu'il faudrait une pile énorme et une dépense considérable pour obtenir un degré d'adhérence convenable.

L'auteur de la note répondit que, dans le cas actuel, l'appareil électrique n'était nulle part en contact avec la terre; que la roue motrice n'était pas électrisée, mais aimantée, et qu'un aimant ne perdait rien de sa force attractive pour être mis en contact avec une masse de fer plus grande et avec le sol.

L'auteur de l'objection a soutenu que, les appareils étant les mêmes et fondés sur le même principe, les circonstances atmosphériques dont il avait parlé les influenceraient de la même manière, et que, si, par un temps de brouillard et de pluie, les télégraphes fonctionnent difficilement, par les mêmes temps l'adhérence magnétique se trouverait considérablement réduite.

L'auteur de la note répond aujourd'hui que les appareils sont, il est vrai, les mêmes dans les deux cas, mais qu'ils ne sont pas placés dans la même situation, ce qui fait toute la différence. Dans le télégraphe électrique, un fil nu reposant sur un grand nombre d'appuis, une légère couche d'humidité le rend un peu conducteur de l'électricité. Le brouillard même, dans lequel le fil est plongé parfois, est aussi conducteur jusqu'à un certain point. On conçoit donc qu'il arrive que dans ces conditions le télégraphe électrique fonctionne difficilement, ou même pas du tout. Tandis que dans l'appareil que l'on propose d'appliquer aux machines locomotives le fil est entouré sur toute sa longueur d'une substance isolante (la soie); il ne repose pas sur un grand nombre d'appuis; il s'enroule sur lui-même, et autour d'une bobine qui n'est nulle part en contact avec le sol. Et d'ailleurs le fût-elle, que cela ne ferait absolument rien, puisque le fil est entouré de soie, que l'on pourrait encore remplacer par la *gutta-percha*, si l'on craignait que la soie n'établît point un isolement suffisant dans un air chargé de vapeurs. On sait que la *gutta-percha* conserve tout entière au fil l'électricité dont il est chargé, lors même qu'il est plongé dans l'eau ou enfoui dans la terre. On voit donc

que les faits actuellement acquis à la science résolvent complétement les objections qui ont été faites, et que par conséquent, avec l'appareil très simple et peu dispendieux de MM. Amberger, Nichles et Cassal, l'aimantation des roues sera la même sur une voie de fer que sur deux rails isolés.

Il est démontré qu'un électro-aimant étant mis en contact avec une certaine masse de fer, on peut augmenter cette masse à volonté sans qu'il perde rien de sa force adhésive ; l'expérience suivante le prouve.

Un bout de rail étant pris entre les deux mâchoires d'un étau, on y fait descendre un électro-aimant suspendu à l'extrémité d'une corde passant sur deux poulies de renvoi, et soutenant à son autre extrémité un sceau chargé de tout le poids que l'aimant était capable de retenir. L'appareil étant disposé de la sorte, il est évident que l'aimant se détachera, s'il perd de sa force adhésive par l'adjonction au bout du rail d'une masse de fer beaucoup plus forte. Cette adjonction fut faite, et l'électro-aimant resta en place. On voit donc qu'il n'y a pas à redouter, pour l'aimantation de la roue et l'adhérence qui en résulte, une longueur indéfinie de rails.

TRAVAUX DE L'INSTITUT DES INGÉNIEURS CIVILS ANGLAIS.

Un membre communique à la Société un compte-rendu des travaux de l'Institut des ingénieurs civils anglais qui traite de la dénomination de la force des machines à vapeur.

Il est reconnu que James Watt prit comme unité, pour estimer la puissance des machines à vapeur, l'effet produit par un fort cheval tirant un poids suspendu à une poulie (ce qui équivaut à 33,000 livres soulevées par minute à la hauteur d'un pied anglais). Il est devenu d'usage, parmi les constructeurs, de donner un excédant de puissance, afin de suppléer aux frottements et aux imperfections inévitables de la machine, de telle sorte qu'en ce moment l'énonciation de la foce d'une machine par la force d'un nombre quelconque de chevaux n'a pas de sens déterminé.

On a cependant prétendu qu'il fallait conserver l'unité de 33,000 livres, et qu'en supposant deux machines également construites, il n'y avait qu'à comparer les dimensions des cylindres, la pression effective de la vapeur sur le piston, et la vitesse de celui-ci, pour déterminer leur pouvoir relatif. Ceci est en effet montré par l'indicateur, qui, habituellement employé, donne une appréciation exacte du pouvoir d'une machine à vapeur.

Bouilton et Watt avaient l'habitude de calculer la force d'une machine d'après la vitesse du piston, combinée avec les dimensions du cylindre et la pression moyenne de la vapeur, comme le montre l'indicateur. Le vague et l'incertitude répandus sur ce sujet depuis ces célèbres constructeurs doivent être attribués aux quantités arbitraires offertes comme unité fondamentale.

Pour éviter les résultats de l'imperfection dans l'unité de la force d'un cheval, choisie par Watt, qui exprime et la force d'action et l'espace qu'elle parcourt dans un temps donné, on a prouvé que l'étalon proposé, d'une quantité d'eau vaporisée dans un temps donné par une quantité de combustible donnée, n'a aucune valeur, car ce n'est pas seulement la génération de la vapeur, mais encore et surtout son utilisation qu'il faut mettre en ligne de compte, et ceci ne tendrait qu'à compliquer la question.

Pour les pompes à feu des mines de Cornwall, l'expression de *force de cheval* est à peu près inconnue, ces machines étant vendues pour élever une certaine quantité d'eau, ce qui forme une espèce d'unité qui peut être aisément évaluée en établissant une comparaison avec le produit des machines dans les districts où l'unité de 33,000 livres est comptée comme force d'un cheval.

La question de savoir, sous le point de vue commercial, ce que les constructeurs doivent fournir comme force d'un cheval, n'a pas besoin d'être discutée: car le pouvoir d'une machine n'est qu'un élément secondaire de l'évaluation de son prix, qui varie nécessairement suivant l'application qu'on en fait. L'excédant du pouvoir donné aujourd'hui par les constructeurs à leurs machines provient évidemment des progrès réalisés dans leur construction, soit par l'emploi d'outils perfectionnés, soit par la substitution dans les pistons et dans la garniture de segments et d'anneaux métalliques aux anneaux de chanvre, soit par des chemins de vapeur plus parfaits, soit enfin par plusieurs autres perfectionnements tout à fait à part, et n'ayant aucun rapport avec la question de l'unité fondamentale établie sur la force d'un cheval, et qu'on croit devoir ne pas changer, n'ayant rien de mieux à lui substituer.

SÉANCE DU 20 JUIN 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

Suite de la discussion sur la construction des ponts suspendus.

LE RAPPORTEUR fait un résumé succinct des questions qui ont été déjà discutées et de celles qui restent à discuter.

On fait observer que, depuis la dernière séance, un rapport a été publié par le gouvernement dans les *Annales des ponts et chaussées;* que ce rapport indique les causes de la chute du pont d'Angers et pose des questions de principe qu'il est urgent de discuter, lors même qu'on interromprait la discussion pendante et que l'on aurait à revenir sur des questions déjà traitées, mais qui ne l'ont été que d'une manière insuffisante, puisque ce document n'était pas connu.

UN MEMBRE répond que le rapport dont il s'agit n'est pas celui de la commission du gouvernement, mais seulement d'une commission locale instituée par le préfet, et n'a pas le caractère officiel qu'on semble lui attribuer.

LE RAPPORTEUR ajoute que les questions qui viennent d'être indiquées seront traitées avec le plus grand détail lors de la discussion du chapitre relatif à la chute du pont d'Angers, et que ces questions ont d'ailleurs été trai-

tées dans son rapport, attendu qu'il connaissait à l'avance le document qui vient d'être publié.

UN MEMBRE ne se souvient pas que l'on se soit occupé de la question des oscillations qui, dans ce cas, ont soumis le pont d'Angers à des efforts bien plus considérables que ceux auxquels il aurait eu à résister dans le cas des épreuves ordinaires de l'administration. Le rapport de la commission préfectorale établit que les câbles altérés avaient encore conservé les 2/3 de leur résistance absolue; qu'ils auraient, par conséquent, résisté aux épreuves administratives, et qu'ils n'ont pu résister à l'accident. C'est un point important qu'il était utile de traiter.

Il ajoute que, si l'on veut arriver à une codification de la construction des ponts suspendus, on entreprend une chose impossible; il y a dans la Société deux opinions trop tranchées pour pouvoir se fondre en une seule, et l'on n'arrivera pas à émettre l'avis de la Société sur la voie à suivre dans la construction des ponts suspendus.

LE RAPPORTEUR répond que l'on ne pourra évidemment formuler que l'opinion de la commission; mais qu'en indiquant ce système il a discuté toute la question, en donnant le pour et le contre et en expliquant les avantages et les inconvénients de chaque système.

Il traite ensuite la question des supports fixes et des supports mobiles.

On demande quelle est l'opinion de la commission sur la préférence à donner à l'un ou à l'autre de ces systèmes de supports.

LE RAPPORTEUR répond que la commission préfère les supports fixes, parce que, dans le cas d'accidents, les chocs sont beaucoup moins considérables, les maçonneries moins exposées à de graves avaries, et aussi parce que les supports mobiles peuvent occasionner eux-mêmes des accidents en sortant de leurs patins. La commission reconnaît cependant qu'il y a certains cas où l'emploi des supports mobiles peut être préféré.

UN MEMBRE pense que ce n'est, en général, que la question d'économie qui a conduit à l'emploi des supports mobiles.

UN MEMBRE dit que le choix à faire dépend de la localité, de la nature du sol; que, d'un côté, si les supports du pont d'Angers avaient été fixés, l'un des câbles de retenue eût pu se rompre à l'un des quatre points d'attache sans entraîner la chute des trois autres, tandis que, d'un autre côté, le pont de Cubjac, déjà compromis par le mauvais sol sur lequel reposent ses fondations, avec l'emploi de supports légers, l'eût été beaucoup plus encore si l'on eût employé des supports fixes. Toutes les fois que le fond est bon, il faut employer des supports fixes, et les supports mobiles ne peuvent être considérés que comme un pis-aller, et non comme un progrès et une règle.

UN MEMBRE croit que dans la discussion on fait confusion entre les piles et les culées. Pour les culées, on ne peut donner le nom de supports fixes aux piliers en maçonnerie que l'on emploie, car ils sont toujours surmontés d'une pièce mobile en fer ou en fonte, qui reçoit la suspension, et qui permet les mouvements des chaînes ou des câbles. Donc, si une chaîne vient à se rompre, le pont tombera inévitablement. La nature du support n'a aucune influence sur les fondations, parce que la surface nécessaire sur le sol

dépend du poids à supporter, et que, dans tous les cas, on doit faire supporter au sol le même poids par unité de surface.

Pour les piles, il préfère les supports mobiles, qui permettent de faire des piles minces, tandis que, pour les piles-culées, il faut de lourdes masses, toujours d'un très mauvais effet.

LE RAPPORTEUR continue son exposé par l'examen des ponts à plusieurs travées, et traite du système des piles-culées et de celui des fléaux mobiles avec haubans.

UN MEMBRE pense que la question principale dont un ingénieur doit se préoccuper pour faire un choix est la question d'économie, et qu'à dépense égale il préférera toujours construire des ponts avec haubans, parce qu'il faudra beaucoup moins de temps pour élever des piles de $1^{m},50$ de largeur moyenne, que pour élever des piles-culées de 6 mètres de largeur. De plus, un support mobile peut être mis en place en un jour, et il faut plusieurs mois pour élever une pile en maçonnerie.

Il ajoute que, pour les fondations, les piles-culées présentent plus d'obstacles à l'action des eaux ; elles sont plus affouillables et plus exposées à être emportées, ce qui a été constaté dans les inondations de la Loire et de la Durance, qui ont détruit les piles de plusieurs ponts à piles-culées, tandis que les piles des ponts à haubans ont parfaitement résisté.

Il ne voit aucune raison à donner contre les ponts à haubans ; la fonte employée en supports mobiles n'est pas altérable comme la maçonnerie ; elle est soumise à un effort de pression, tandis que la maçonnerie des piles-culées est soumise à un effort de traction horizontale, qui est la plus mauvaise condition de son emploi. Enfin, les haubans, étant bien entretenus, présentent toute la sécurité désirable.

UN MEMBRE n'admet pas qu'un ingénieur doive se préoccuper avant tout de dépenser le moins possible. C'est une idée qui peut être applicable au point de vue du revenu d'une entreprise commerciale ; mais, dans l'exécution des travaux, on doit surtout se préoccuper de pourvoir à leur solidité et d'éviter les accidents. A son avis, l'emploi des haubans ne peut être considéré que comme un expédient dont on se sert pour se tirer d'une affaire difficile ; mais ils ne peuvent être, d'une manière absolue et en principe, préférés aux ponts à larges fondations. Si les ponts détruits par les eaux sur la Loire et la Durance avaient été bien fondés, ils ne seraient pas tombés. Tous les ponts, quelle que soit leur nature, ont besoin de points d'appui, et l'on doit rechercher la solidité spéciale de chacun d'eux ; quant à la doctrine qu'un point d'appui mince soit moins affouillable dans le lit d'un fleuve qu'un autre plus épais, il n'est pas acceptable : car, si ces points d'appui viennent à manquer, les ponts tomberont nécessairement.

LE RAPPORTEUR est aussi d'avis que les ponts à haubans peuvent être employés sur les cours d'eau dont le lit est resserré, et où il importe de ne pas apporter d'obstacles à l'écoulement ni d'entraves à la navigation ; mais il regarde aussi cet emploi comme exceptionnel.

On fait observer que les ponts à haubans sont généralement employés avantageusement quand il y a plusieurs travées ; qu'ils peuvent être appliqués indifféremment dans toutes les localités ; que presque tous ceux construits, le sont en pays plat avec des levées aux abords. Il cite, sur la Seine,

les ponts de Conflans, de Triel, d'Elbeuf; sur la Loire, les ponts d'Ancenis, de Chalonne, de Mont-Jean, de Port-Boulet, de Tours, de Châteauneuf; sur la Durance, de Cavaillon; sur la Moselle, de Novecent, etc.

L'ordre de la discussion amène ensuite l'exposé des causes probables de la chute du pont d'Angers.

LE RAPPORTEUR rappelle que ce pont n'avait qu'une seule travée, dont la largeur était de 100 mètres environ. Le tablier était supporté de chaque côté par un seul câble reposant sur des supports mobiles, et composé de quatre faisceaux qui, à 3 mètres au-dessous du sol, se divisaient en seize autres, dont chacun avait un amarrage spécial.

L'un des câbles de retenue s'est rompu au point de division, l'autre câble de retenue s'est rompu immédiatement, et les câbles de l'autre rive sont restés intacts.

Les cheminées contenaient bien de la chaux grasse en pâte molle, mais qui présentait des fissures à travers lesquelles l'eau s'était introduite jusqu'au fil de fer, qu'elle avait altéré.

Lors des premières épreuves faites après la construction du pont, une rupture avait eu lieu, et avait déterminé des crevasses dans l'intérieur des maçonneries, qui s'étaient inclinées à l'avant; ces crevasses s'étaient prolongées jusque dans les cheminées et dans la pâte de chaux, et l'eau, ainsi qu'on l'a dit, s'infiltrant à travers ces crevasses, avait atteint et détérioré les fils de fer, ainsi que le prouvaient les traces d'oxydation reconnues dans la chaux, et ainsi que l'ont prouvé les expériences auxquelles ont été soumis les fils de fer. Ces expériences ont montré, en effet, que les fils, au point de rupture, avaient perdu 1/3 de leur résistance première, tandis que, dans les points où ils étaient intacts, ils l'avaient conservée tout entière.

La commission pense que la chute du pont d'Angers a eu deux causes : la première est la détérioration des fils de fer au point où s'est fait la rupture; et la seconde le passage d'un bataillon de troupe marchant au pas cadencé, et traversant le pont au moment où déjà il éprouvait de fortes oscillations par l'effet d'une violente tempête.

UN MEMBRE est d'un avis tout à fait opposé. On admet, dit-il, que c'est à la perte de 1/3 dans la résistance du fil de fer qu'est due la chute du pont d'Angers; mais cela est impossible, car ces fils, qui avaient encore conservé les 2/3 de leur force, pouvaient encore résister à un effort de 800,000 kil.: or le bataillon, produisant au maximun un effort de 200,000 kilog. sur les câbles, il faut donc admettre que les oscillations seules ont produit un effort de 600,000 kilog., ce qui n'est pas croyable, car alors rien ne pourrait résister, et on ne voit pas de limite à cet effort.

Il pense donc que la tempête a produit sur le plancher un mouvement horizontal qui s'est communiqué aux supports mobiles des culées et a produit sur celles-ci une oscillation transversale; la base du support mobile a échappé de la semelle, le support est tombé sur la maçonnerie de la hauteur de la semelle, qui peut être de $0^{m}.40$ à $0^{m}.50$; il en est résulté un choc violent qui a rompu le câble à la partie altérée, et le plancher du pont est tombé. Il cite pour exemple deux ponts à supports mobiles, l'un sur la Durance, l'autre sur la Marne, près Paris, qui sont tombés sous les efforts de violents ouragans et alors que personne ne les traversait.

Pour éviter ces accidents, on rend maintenant les semelles solidaires des maçonneries au moyen de boulons qui pénètrent dans celles-ci jusqu'à 2 mètres de profondeur; on rend les fléaux solidaires des semelles par des brides qui n'empêchent en rien le mouvement angulaire dans le sens de la longueur du pont; on rend enfin les deux fléaux d'une même pile solidaires entre eux en les réunissant à la partie supérieure par une traverse, en fer, en fonte ou en bois. Jusqu'à présent les ponts disposés ainsi n'ont éprouvé aucun accident.

LE RAPPORTEUR répond que des faits certains viennent contredire ce qui vient d'être dit, puisque, au dire des soldats restés sur les culées, on a entendu d'abord un bruit analogue à celui d'un feu de peloton mal nourri qui provenait évidemment de la rupture du câble, et que ce n'est qu'après l'audition de ce bruit que le fléau, et par suite le pont, sont tombés.

UN MEMBRE explique pourquoi le support mobile n'a pu tomber qu'après la rupture du plancher. Le support était entouré d'un cadre en fonte qui formait pilastre. Quand le support est descendu de la semelle, le plancher est descendu d'autant; la secousse a rompu le câble, qui est venu se placer contre le cadre en fonte. Le plancher n'étant plus soutenu, les pièces de bois qui le composaient se sont rompues successivement, et ont produit un bruit qui a pu être pris pour un feu mal nourri, et la chute complète du plancher a entraîné rapidement le câble, a renversé le cadre et le support.

Le point où le câble s'est rompu était à 15 mètres de distance du support, il était en contre-bas du sol de $3^{m}.50$ dans une cheminée garnie de chaux; la rupture n'a pu être entendue, et, eût-elle produit du bruit, son effet ne peut être comparé à celui de la rupture du plancher du pont.

LE RAPPORTEUR maintient que les pièces du plancher ne se sont pas rompues, et que le bruit s'est fait entendre dans l'intérieur du puits.

On demande si la commission admet que, dans des circonstances analogues, alors qu'un pont suspendu sera traversé par une agglomération de personnes marchant au pas cadencé, soit volontairement, soit involontairement, et par l'effet des oscillations même du pont, les efforts créés sur les points d'attache par les oscillations dépasseront la résistance de ces points.

LE RAPPORTEUR répond que tel est l'avis de la commission; que la chute n'a pas été due seulement à la charge, mais à la charge accompagnée des oscillations, lesquelles ont produit des efforts bien plus considérables que ceux obtenus par les épreuves à 200 kilog. par mètre carré de plancher.

On réplique que, si l'on admet qu'il en soit ainsi, et que la présence des supports mobiles ait augmenté les proportions de l'accident, il en faut conclure que les ponts suspendus présentent des dangers, et que ces dangers sont plus grands encore lorsque l'on emploie des supports mobiles, et enfin que ces ouvrages sont plus altérables qu'on ne le supposait, puisqu'une simple diminution de 1/3 dans la résistance en peut occasionner la chute. Il demande si la Commission conclut seulement à un bon entretien des fils.

LE RAPPORTEUR répond qu'il ne faut pas être trop absolu; que le pont d'Angers se trouvait dans les plus mauvaises conditions : il n'avait qu'un seul câble de chaque côté. S'il en avait eu deux, la présence du second eût pu diminuer beaucoup les chances et les effets de l'accident. Chaque câble

était divisé en six faisceaux, ce qui est mauvais, à cause de la plus grande surface présentée à l'action de l'air extérieur et à la facilité donnée à l'infiltration de l'eau dans l'intérieur du câble. Ces six faisceaux étaient divisés en seize dans la partie noyée dans les maçonneries, c'est-à-dire précisément dans l'endroit le plus altérable et où les fils, pour résister aux effets que nous venons de signaler, auraient eu besoin d'être le plus resserrés. Les fléaux mobiles n'étaient pas réliés, et enfin les maçonneries présentaient des fissures qui s'étaient propagées jusque dans l'intérieur de la pâte de chaux, qui ne pouvait être visitée. Il y a donc là un vice de construction et défaut d'entretien. Il dit ensuite qu'il ne faut pas comparer les ponts suspendus à des ponts fixes, les ponts suspendus étant de véritables machines qui n'ont été inventées que pour remplacer les bacs dans les endroits où il eût été trop difficile ou trop coûteux d'établir des ponts fixes. Ils doivent être soumis à un entretien sérieux et à quelques précautions de passage. Ainsi, les troupes, soit à pied, soit à cheval, ne doivent les traverser que par files, en rompant le pas. On ne doit pas y laisser circuler des masses trop considérables de piétons ni des voitures trop lourdement chargées, lancées au galop.

UN MEMBRE trouve qu'avec de telles précautions les ponts suspendus seraient de pauvres constructions. Il ne croit pas toutes ces précautions indispensables, et il pense que la chute du pont d'Angers a été due à la faiblesse de ce pont et à sa construction vicieuse. Tous les ponts construits comme lui succomberaient. Il ne faut pas chercher à dépenser le moins possible dans l'établissement de ces constructions.

Il fait observer que de toute cette discussion il faut conclure que rien n'est indiqué de sérieux dans les moyens d'éviter la chute des ponts suspendus, construits suivant les habitudes actuelles.

On ne peut pas admettre les restrictions sur le passage sans fixer les limites de ces restrictions. L'intensité des oscillations sera très différente par un temps calme ou par un vent violent avec le même nombre d'hommes. Ces oscillations provenant d'une cause volontaire ou forcée dépassant la résistance des fils, ce n'est pas non plus dans les moyens de conservation des fils qu'il faut chercher le remède.

Le sort du pont d'Angers attend les ponts construits en très grand nombre dans le même système. La cause gît dans la manière fâcheuse dont l'art a dévié de sa route naturelle sous l'influence des règles administratives.

Dans la prochaine séance, c'est sous ce point de vue important que ce membre a l'intention de traiter la question de la chute du pont d'Angers.

TRAVAUX DE L'INSTITUT DES INGÉNIEURS CIVILS ANGLAIS.

UN MEMBRE communique à la Société un compte-rendu des travaux de l'Institut des ingénieurs civils anglais, dans lequel il est question d'un mémoire de M. S. Clegg sur les fondations naturelles et artificielles.

Quoique les termes *naturel* et *artificiel* soient assez explicites, M. Clegg a pensé qu'il était nécessaire de définir distinctement la nature des fondations naturelles, c'est-à-dire des terrains qui possèdent une force suffisante pour supporter les pressions qui peuvent leur être imposées, aussi bien que la nature des différentes sortes de fondations artificielles dont on fait usage

quand le terrain est d'une densité inégale, sujet à l'action de l'eau ou bien assez peu solide pour ne pouvoir supporter le poids dont on veut le charger.

Les fondations naturelles sont généralement des couches régulières de rochers, quelquefois de graviers, de sable sec, d'argile pure et d'autres terrains compactes. Le plus remarquable exemple d'une construction élevée sur un rocher isolé à couches régulières est le phare d'Edystone. Dans cette construction, le frottement des bancs ou des couches est suffisant pour empêcher le mouvement de la construction; mais, dans une localité plus septentionale, où le froid peut graduellement détruire la cohésion, il serait nécessaire de bâtir sous l'eau avec précaution, sur un rocher isolé et faisant un angle avec l'horizon.

On emploie les choches à plongeur pour exécuter les fondations dans des eaux profondes. A une moindre profondeur, le sable et la vase sont dragués, en laissant intacte la surface du rocher; une couche de pierres plates est alors étendue jusqu'à la hauteur des basses eaux du printemps; on nivelle ensuite la surface, et l'on commence les travaux de maçonnerie hydraulique.

Pour des constructions exigeant encore plus de soins, comme, par exemple, une jetée, un pont, le lit est mis à sec au moyen d'un caisson construit, par exemple, comme celui dont on s'est servi pour creuser le rocher sur la rivière de Ribble. Si cependant la pierre est assez abondante et l'espace suffisant, l'ouvrage peut être exécuté avec la pierre perdue, comme, dans les rades de Plymouth et de Cherbourg, la jetée d'Aberdeen et celle de Portland.

L'argile dure ardoisée peut être considérée d'neu dureté égale à celle du rocher si la fondation est assez éloignée de la surface pour n'être pas soumise aux influences atmosphériques, et, dans certaines circonstances, l'argile pure peut supporter 5 kilog. 50 par centimètre carré. Les fondations de gravier ou de sable sec peuvent être d'une force suffisante si le lit est égal en profondeur à la largeur moyenne de la fondation : l'eau s'infiltrant à travers le gravier ne causera aucun dégât, tandis que sur le sable elle sera positivement nuisible.

Les moyens employés pour rendre les terrains peu solides capables de supporter un poids donné ou de devenir des fondations artificielles sont : le béton employé dans des caissons; les pilots en bois recouverts d'une plate-forme ou de fascines; les pilots métalliques enfoncés dans le sable, en leur donnant soit la forme de vis, soit celle de cylindres pneumatiques.

L'emploi du béton est d'un usage très ancien. Quatremère de Quincy nous dit qu'on en trouve dans les mines et dans les fondations d'édifices égyptiens; et Vitruve, qui écrivait il y a dix-huit cents ans, donne la manière dont les Romains le préparaient et l'employaient.

On en a découvert aussi dans plusieurs temples grecs et dans beaucoup de mines normandes et anglo-saxonnes dans la même contrée.

Cependant, quoique la France n'ait pas cessé de s'en servir, il a été négligé en Angleterre pendant quatre siècles, c'est-à-dire jusqu'à l'année 1800, époque à laquelle M. Ralph Walker l'a employé dans la construction des docks des Indes-Orientales. Bien qu'en Angleterre on ne s'en soit servi que pour des ouvrages sur terre ferme, on peut parfaitement l'employer pour des constructions maritimes.

Dans les constructions des immenses magasins du dock Chatham, on a employé des piliers faits en béton.

L'emploi de caissons a été introduit par Labelye en 1740, qui s'en servit pour les fondations du pont de Westminster; en France, de Cessart s'en est servi pour la première fois, en 1764, pour le pont de Saumur.

Les pilots en bois et les fascines sont sujets à se détruire quand ils sont exposés à l'action de l'air; mais on évite cet inconvénient en les tenant constamment sous l'eau. Quand on doit enfoncer un grand nombre de pilots destinés à former une enceinte continue, il est quelquefois préférable d'enfoncer d'abord les palplanches, puis les pieux, tandis que, dans d'autres circonstances, il faut suivre une marche inverse. Dans le premier cas, les palplanches sont sujettes à dévier; dans le second, le sol entre les pieux n'est pas régulièrement comprimé.

Tous ces systèmes seront probablement remplacés dans quelques années par les pieux à vis de Mittchells et les cylindres pneumatiques de Potts, dont on s'est déjà servi avec succès dans beaucoup de travaux importants. Les premiers ont été successivement employés pour le Fleewood, Belfast, Maplin et le phare de Chapman-Sand, pour la jetée de Courtown, comté de Wexford, pour la construction d'une digue à Portland, et les fondations de plusieurs ponts de chemins de fer et de viaducs.

L'autre système a d'abord été employé pour un pont sur le chemin de fer d'Holyhead; les tubes ont été enfoncés au moyen de la pompe à air à double effet, le pilot s'enfonçant à mesure que le vide se faisait. Dix-neuf tubes de $0^{m}.30$ de diamètre ont été enfoncés, leurs extrémités reposant parfaitement de niveau; on a fixé ensuite sur la surface formée par la tête des pieux une plaque de fonte sur laquelle la pile a été bâtie.

L'expérience a démontré qu'il est préférable de faire des tubes d'un grand diamètre, et maintenant on en emploie qui ont $1^{m}.50$ et même $2^{m}.10$ de diamètre.

Dans ce cas, la simple aspiration de l'air n'est pas suffisante pour vaincre le frottement des parois. On y a remédié en introduisant entre le tube et la pompe à air un récipient où l'on fait le vide, de sorte qu'on peut, en établissant une communication entre ce récipient et le tube, produire un double effet, d'abord l'épuisement de l'air, comme précédemment, et ensuite un coup sur la tête des piles. Une modification de ce procédé a été employée au pont de Rochester, où les cylindres ont été employés comme des cloches à plongeurs; on a refoulé l'eau, et l'on a opéré le creusement à l'intérieur par un travail manuel. Ce procédé est préférable quand les cylindres ne peuvent pas descendre dans un fonds rocheux.

SÉANCE DU VENDREDI 4 JUILLET 1851.

Présidence de M. Polonceau, *vice-président.*

Suite de la discussion sur la construction des ponts suspendus.

LE RAPPORTEUR rappelle que la commission a attribué la chute du pont d'Angers à des vices de construction, à des détériorations dans les maçonneries et à un défaut d'entretien.

Il ajoute que les ponts suspendus ne peuvent pas être comparés aux ponts fixes. Il ne faudrait pas conclure de la chute d'un pont suspendu qu'il n'y a plus lieu de construire des ponts de cette espèce ; les accidents graves arrivés sur les chemins de fer et sur les bateaux à vapeur empêchent-ils qu'on se serve de ces moyens de transport? En sillonnant la France de voies de communication qu'il eût été impossible d'établir avec des ponts fixes, parce que la dépense eût été trop considérable, l'industrie des ponts suspendus a rendu au pays tous les services qu'on devait en attendre.

UN MEMBRE discute l'influence de l'intervention administrative sur les conditions d'art qui dominent aujourd'hui dans la construction des ponts suspendus.

L'administration a posé des règles ; elle a déterminé les limites de l'effort auquel doit résister le métal sous telle ou telle forme, fil, lame ou barre. On a appelé cette limite, qui est du tiers au cinquième de l'effort de rupture, *coefficient de sécurité*. Elle a en outre fixé la nature de l'effort : c'est une tension progressive croissant lentement sous une certaine charge d'épreuve.

Quant à la limite de l'effort auquel le métal doit être soumis, elle devait être modifiée par le système de construction même. Elle est trop faible pour une certaine forme de câble, trop forte pour une autre forme, suivant le plus ou moins d'égalité de tension de chaque brin dans le faisceau. Le fer en barres à articulations soudées doit moins supporter que le fer dont l'articulation vient au laminoir avec la barre. Il est nuisible pour l'art de lier par la même règle deux constructions dont l'une est vicieuse et l'autre bonne.

Quant à l'épreuve par la tension progressive sous une certaine charge, elle a l'inconvénient de n'être en rien semblable à celles que produisent la circulation et l'influence de l'atmosphère. Il est maintenant prouvé par l'expérience que le vent, le pas cadencé, le passage de lourdes charges, déterminent des oscillations dont l'effort dépasse la limite de résistance de l'épreuve administrative. Les règles administratives sont donc encore ici nuisibles au développement de l'art, parce qu'elles lui ôtent à la fois sa liberté et la règle

de cette liberté, qui est la responsabilité directe et le contrôle de l'opinion publique.

Trois opinions se sont produites dans la discussion. Les défenseurs de l'une, et ce sont ceux des ponts suspendus quand même, ne considèrent pour règle que la dépense ; ils la veulent la moindre possible, et l'on peut admettre qu'ils ont raison, puisque, quand un pont résiste à l'épreuve, son constructeur est couvert par une réglementation qui le décharge de toute responsabilité ultérieure.

Les autres pensent que les progrès de l'art des ponts suspendus en France sont tels qu'on peut considérer ces constructions comme supérieures à celles des pays étrangers.

D'autres enfin pensent que la construction des ponts suspendus est vicieuse, qu'elle a dévié de sa véritable direction par suite de la réglementation administrative ; le contrôle administratif lui-même est impuissant, puisqu'on voit, par l'exemple du pont d'Angers, que des ponts suspendus peuvent tomber même après que des épreuves auraient constaté leur solidité.

Les ponts suspendus ne doivent pas être, comme on l'a dit, construits seulement là ou de faibles ressources ne permettent pas d'établir des ponts fixes ; ils doivent pouvoir être placés dans les localités populeuses et là où des difficultés de passage, nécessitant un espace considérable entre les points d'appui, les rendent préférables à tout autre.

Ainsi, à Londres, sur la partie la plus belle et la plus fréquentée du bassin de la Tamise, l'établissement d'un pont fixe eût certainement créé des difficultés à la navigation. Brunel, en construisant le pont d'Hungerford, a concilié les besoins d'une grande circulation à travers la rivière avec ceux de la navigation.

C'est ainsi qu'on devra construire des ponts suspendus sur les fleuves tels que la Loire, dont les passes ne sont pas réglées, dont le fond est mobile et dont la navigation se fait à la voile ; c'est ainsi qu'on devra en établir sur les cours d'eau torrentiels et sur ceux où les points d'appui devront être très éloignés du cours d'eau lui-même.

Les ponts suspendus ne sont donc pas une spécialité des passages peu fréquentés, et il peut se rencontrer, au contraire, maintes circonstances dans lesquelles il soit utile de les adopter sur des points où se produit une grande circulation.

Or, tels qu'ils sont actuellement construits, ils ne peuvent suffire à ces exigences. L'art de les construire a été entravé dans son développement, et ces entraves résident uniquement dans ce fait qu'il suffit qu'un pont ait résisté à une épreuve de 200 kilog. par mètre carré de plancher pour être accepté et pour que son constructeur soit dégagé de toute responsabilité. On ne se préoccupe en aucune façon des oscillations ; la réglementation ne l'exige pas. Les épreuves sont, en réalité, plutôt faites en vue des maçonneries qu'en vue de la suspension, que l'on fait toujours plus forte qu'il n'est strictement exigé par le cahier des charges.

Il faudrait que les compagnies fussent intéressées à la durée des constructions ; ce qui n'a pas lieu ordinairement, les concessions étant généralement de courte durée.

Dans les pays étrangers, où les compagnies sont propriétaires à perpétuité

et directement responsables de leurs œuvres, les ponts suspendus sont plus grands, plus forts et plus solides.

Il est certain que, comme on l'a dit, il a été avantageux pour la France qu'on en ait pu faire un grand nombre, et les constructeurs, sous l'empire de la réglementation actuelle, les ont faits aussi bien que possible ; mais c'est la réglementation qui est mauvaise. La critique porte donc sur l'état, non pas sur les constructeurs.

Le meilleur remède à apporter à cet état de choses serait de laisser à l'art toute sa liberté, en maintenant, comme cela se fait dans les pays étrangers, la responsabilité directe.

Nous devons émettre le vœu que la profession d'ingénieur soit émancipée; nous devons réclamer la liberté du travail, l'initiative dans les moyens de construction pour l'industrie relative au transport des personnes et des choses. Cette industrie a été long-temps considérée comme le monopole de l'état; il lui a été enlevé, et il a cherché à le ressaisir par le contrôle. Ce contrôle s'exerce dans de bonnes conditions sur les chemins de fer; il devrait s'exercer aussi largement sur les ponts suspendus.

La responsabilité sera plus dure, il est vrai; le capitaliste sera intéressé à vérifier la construction; l'opinion publique fera sentir son influence, et les constructions seront meilleures. Il faut, en résumé, émettre le vœu que l'administration révise les conditions de réglementation, dans le but de donner au constructeur une plus grande liberté.

LE RAPPORTEUR répond qu'il est d'avis qu'on émette le vœu énoncé par le préopinant, mais qu'il n'est pas d'accord avec lui sur les considérations qu'il a présentées.

D'abord la commission n'a pas restreint l'emploi des ponts suspendus au remplacement pur et simple des bacs ; elle a dit, au contraire, que, lorsqu'on aurait à franchir des cours d'eau dans les localités où la circulation ne peut être que très bornée, où des points d'appui dans le lit même viendraient porter obstacle à la navigation, où la distance à franchir serait considérable, et dans certaines autres circonstances, le principe de la suspension serait toujours préféré sous toute espèce de rapport.

Il n'est pas exact de dire que les constructeurs soient couverts par la réglementation actuelle, et qu'ils n'aient aucun intérêt à la conservation de leur ouvrage, car il y a la responsabilité légale, sous le coup de laquelle les constructeurs et les ingénieurs se trouvent pendant dix ans, et parce que la plupart des constructeurs sont restés actionnaires et concessionnaires des ponts qu'ils ont construits.

LE RAPPORTEUR ajoute que la Commission avait à considérer la question sous des points de vue différents, d'abord sous le rapport de conseils à donner aux ingénieurs, et ensuite sous le rapport de la réglementation.

Sous le rapport des conseils à donner aux ingénieurs, la Commission est entrée dans les plus grands détails pratiques en ce qui constitue l'établissement des ponts suspendus; elle a indiqué tout ce qui lui paraissait bon à suivre pour arriver à une bonne construction; et que c'est sous ce point de vue qu'après s'être rendu compte ~~de ce~~ qui s'était fait en France, en Allemagne et en Suisse, elle avait indiqué le coefficient de sécurité de 1/3 comme règle pratique pour le fil de fer, et de 1/4 pour le fer forgé.

Sous le rapport de la réglementation, la Commission a indiqué que, dans l'origine de la construction des ponts suspendus, il n'avait été imposé aucune limite relativement à la résistance des fers et des fils de fer; que les limites de résistance maxima imposées ultérieurement par l'administration avaient conduit à des résultats fâcheux tout autres que ceux qu'on devait en attendre.

La Commission est d'avis qu'il faudrait laisser aux constructeurs une grande liberté pour les ponts suspendus comme pour tout le reste, mais que cette liberté ne doit pas être aussi absolue en France qu'en Angleterre, parce qu'il est fâcheux de le dire, l'esprit anglais se préoccupe de la solidité, tandis que l'esprit français se préoccupe davantage de l'économie, et que cette préoccupation pourrait nuire à la bonne exécution des travaux.

On répond que les efforts à l'épreuve, ou les coefficients de sécurité, ne sont pas les mêmes dans tous les pays; qu'ainsi, au pont de Fribourg, on a fait supporter aux fils de fer 36 kilog. par millimètre carré, tandis qu'en France on ne leur en fait supporter que 18.

L'administration n'a pas d'ailleurs fixé de coefficient de sécurité, mais une charge par millimètre carré, quels que soient les matériaux, et c'est sur ce point de la réglementation, qui donne un désavantage fâcheux aux fers en barres sur les fils de fer, que l'on a entendu l'attaquer.

Que, sur un passage très fréquenté ou très exposé aux vents violents, on établisse un pont suspendu dont le tablier soit très rigide, la suspension lourde, mais forte, d'un système homogène, où tous les éléments soient intéressés dans l'effort résultant de la charge ou des oscillations, que ce pont soit, en conséquence, lui-même peu susceptible d'oscillations, assurément il inspirera plus de confiance avec un coefficient de sécurité qui portera l'effort du maximun de charge à la moitié du poids de rupture du métal, qu'un pont léger, subissant des oscillations considérables sous l'influence du vent, du passage de quelques personnes ou d'une voiture chargée, et dans lequel le coefficient de sécurité sera du tiers du poids de rupture du métal.

On ne peut dire que la responsabilité directe existe parce que les constructeurs restent intéressés dans la propriété du pont : le constructeur qui reste actionnaire ne court d'autre chance que de voir réduire la valeur de son titre par la chute du pont; mais sa responsabilité vis-à-vis des tiers est nulle.

Si la responsabilité directe existait, et que, la preuve étant donnée, après un accident, de la mauvaise construction ou du mauvais état d'un pont, les tiers pussent rendre les propriétaires responsables du dommage qu'ils ont éprouvé, les actionnaires ne s'intéresseraient qu'à bon escient; ils demanderaient à l'art les conditions de sécurité.

Aujourd'hui l'opinion publique se tait, et l'intéressé s'endort après une épreuve administrative qui a réussi. Pour l'actionnaire, c'est l'*étiquette du sac;* il n'est plus besoin de l'ouvrir pour regarder l'intérieur : l'état s'en est chargé.

Il convient donc que la Société se prononce en faveur du principe de l'affranchissement de l'art en réclamant la liberté de la pensée dans les travaux de l'art de l'ingénieur; loin de craindre la règle, elle la cherche; loin de craindre le contrôle de l'opinion publique, elle veut le rendre efficace; elle demande l'assimilation de l'intervention administrative dans les ponts

supendus telle qu'elle existe dans les chemins de fer. Dans les travaux publics qui ont pour but le transport des personnes et des choses, l'intérêt public est sollicité, d'un côté, par l'intérêt privé, qui y trouve un aliment considérable d'affaires, et, de l'autre, par l'état, qui s'est fait le dispensateur et le directeur omnipotent de ses affaires.

L'intérêt privé, représenté par l'association ; l'état, représenté par l'administration, peuvent abuser de l'intérêt général ; et, ce qui est prouvé jusqu'à ce jour, c'est que les pays où l'on en abuse le moins, ceux où l'intérêt général reçoit les plus grands services de l'association, sont justement les pays où règne la plus grande liberté quant aux conditions du travail, et où l'état se borne au rôle de moniteur de l'opinion publique.

SÉANCE DU VENDREDI 18 JUILLET 1851.

Présidence de M. Auguste Perdonnet, *président.*

Construction des grilles de foyer.

M. POLONCEAU rend compte d'un mémoire de M. Arson relatif à un barreau de grille de nouvelle forme composé de deux barreaux ordinaires fondus ensemble, de manière à ne former qu'une seule pièce par leur contact à leurs extrémités, ainsi qu'en leur milieu. Le vide entre les barreaux est de 8 mill., pour une épaisseur de 12 mill. ; on pourrait même réduire ce vide à 5 mill., en conservant au barreau la même épaisseur de 12 mill.

Il ajoute que l'expérience démontre qu'il y a avantage à faire des barreaux minces et leurs intervalles étroits, ce qui permet de répartir l'air plus uniformément dans la masse de combustible, et empêche la houille menue de tomber à travers les barreaux. Les barreaux minces ont l'inconvénient de se déformer ; mais le procédé de M. Arson a précisément pour effet d'empêcher cette déformation.

Il y a un obstacle à surmonter dans ce nouveau système de barreau, c'est la difficulté du moulage. Cependant M. Arson en a fait lui-même l'application.

On fait observer que dans les ateliers du chemin de fer du Nord on a renoncé, pour les machines fixes, à l'emploi des barreaux de fonte, qui, trop sujets à se déformer, présentent au bout d'un certain temps des inégalités de vides. On les a remplacés par des barreaux en fer forgé, qui coûtent environ 42 centimes le kilog. Ce prix est le double, il est vrai, de celui des barreaux de fonte ; mais ils durent au moins deux fois plus. On peut les faire

de toutes dimensions, et, lorsqu'ils ne peuvent plus servir comme barreaux, ils ont encore une certaine valeur comme métal.

UN MEMBRE appuie ce qui vient d'être dit; il ajoute que ces barreaux de grille coûtent au chemin de fer du Nord 37 centimes seulement. On fournit au constructeur des bouts de rails estimés 15 centimes le kilog., et il rend poids pour poids des barreaux terminés, moyennant un prix de façon de 22 centimes. Quand on lui donne pour la même transformation de vieux barreaux de fer hors de service, il faut lui en livrer 125 kil. pour en retirer 100 kil. de barreaux finis, ce qui élève alors le prix à 40.75 au lieu de 37 centimes, ou, si l'on veut, on peut avoir pour le même prix de 37 centimes les barreaux neufs; mais alors il faut estimer le vieux fer à 12 centimes au lieu de 15 centimes. On trouve donc à utiliser les vieux barreaux *en fer* hors de service, tandis que les vieux barreaux de fonte ne sont acceptés à aucun prix dans le commerce. La vieille fonte en débris *non brûlée* peut seule se vendre, et son prix est alors de 10 à 12 centimes le kil.

UN MEMBRE réplique que les barreaux de fer, qui coûtent le double des barreaux de fonte, ne se vendent pas comme vieux fer beaucoup plus cher que la vieille fonte, dont on peut trouver le placement à 10 ou 11 centimes. Il ajoute que les barreaux de fer minces se déforment autant que les barreaux en fonte.

On appuie sur ces observations, car ces barreaux en fer seraient bientôt brûlés, et le fer brûlé est sans valeur; c'est pour cette raison que les vieilles fontes sont souvent préférées aux vieux fers.

On fait observer que la houille brûle plus le fer que la fonte, et qu'il n'en est pas de même du coke.

UN MEMBRE recommande l'emploi des barreaux dont les extrémités sont taillées en biseau à la partie supérieure, ce qui empêche la déformation par un échauffement inégal. Ces barreaux ont été employés avec avantage dans plusieurs usines à Douai.

On répond que c'est ainsi que sont faits les barreaux de grilles de locomotives.

UN MEMBRE signale les inconvénients présentés par les barreaux minces avec certaines natures de houilles, et même de cokes, dont les scories se collent facilement, et qui ne peuvent être détachées qu'à coups de ringard, qui brisent ou déforment souvent les barreaux minces.

Il a fait lui-même usage de la disposition des barreaux doubles en question. Les barreaux avaient douze mill. d'épaisseur; les interstices avaient également 12 mill.; l'application en fut faite dans un four dormant à réchauffer, alimenté avec du coke. La combustion était meilleure; mais, au bout d'un certain temps, les barreaux avaient été tellement déformés en détachant les scories, qu'on fut obligé de les réformer, et d'en revenir aux anciens barreaux de 25 à 30 mill. d'épaisseur.

Travaux de sondage.

UN MEMBRE, M. Evrard, réclame la priorité à l'égard de certains résultats présentés dans une des dernières séances par M. Goschler, dans son rapport sur les travaux de sondage de M. Kind.

A l'appui de sa réclamation, il dépose sur le bureau des échantillons de terrains analogues à ceux apportés par M. Becquerel à la séance du 23 juin dernier à l'Académie des sciences.

Il expose ensuite la méthode qu'il a imaginée et mise en pratique en 1838 pour découper, au fond d'un trou de sonde, des cylindres de terrains. Il considère ses appareils comme plus complets que ceux de M. Kind au point de vue de l'étude géologique des terrains, parce qu'il fait sur les échantillons, avant de les découper, une marque qui permet de les orienter dans leur position naturelle.

Il a présenté à l'Académie la description de ses appareils, et, dans la séance du 24 février 1840, une commission, composée de MM. Cordier et Beudant, a été nommée pour faire un rapport sur ce sujet. Le rapport n'a jamais été fait ; mais dans cette même année, une notice sur les outils de M. Evrard fut insérée dans les *Annales des Mines* (tome XVIII, page 53). Plus tard M. Combes, dans le Traité d'exploitation des mines qu'il publia en 1844, donna un extrait de cette notice (tome II, page 45).

La même description a été publiée en 1841 dans les mémoires de la Société d'agriculture de Valenciennes (tome III, page 219).

Ressorts de suspension.

Il est ensuite demandé à M. La Salle, qui s'est spécialement occupé de la question des ressorts, auxquels il a apporté des perfectionnements nombreux et importants, de faire connaître le travail de M. Blacher sur les ressorts, et en même temps de donner quelques renseignements sur l'état de la question.

Il dit que le travail de M. Blacher ne doit être considéré que comme une étude purement théorique des moyens que peut présenter la théorie de la résistance des matériaux pour calculer les effets d'un ressort théorique d'un type particulier, et permettre de déduire, par analogie, les dimensions de ressorts semblables ou à peu près semblables qu'on voudrait reproduire.

A ce titre, les formules auxquelles il arrive ne sauraient être rigoureusement applicables aux différents cas qui peuvent se présenter dans les applications, car elles ne tiennent pas compte des nombreuses circonstances pratiques qui sont de nature à modifier les indications générales de la théorie ; elles n'indiquent d'ailleurs pas suffisamment la marche à suivre pour qu'un ressort puisse être calculé de la manière la plus avantageuse relativement aux conditions de son emploi.

Le principe qui forme la base du calcul de M. Blacher est un principe nouveau, ou du moins peu connu des praticiens, qu'on ne trouve dans aucun des ouvrages pratiques qui traitent de la résistance des matériaux, et dont l'application pourra donner lieu à des recherches plus étendues.

Le principe en question est le suivant :

Si l'on considère une barre élastique à section uniforme posée sur deux points d'appui espacés entre eux, et situés à des distances égales par rapport aux extrémités de la barre ; si l'on applique à chacune des extrémités de la barre deux forces verticales égales, M. Blacher démontre que le mo-

ment d'élasticité est constant pour toute la portion de barre comprise entre les points d'appui ; que celle-ci affecte par conséquent, en fléchissant, une courbure exactement circulaire, et que les bras de levier des forces qui sollicitent sa flexion sont égaux aux saillies de la barre, c'est-à-dire à la distance des points d'appui aux extrémités. Il suit de là que, si l'on substitue aux points d'appui les extrémités d'une seconde barre, portée elle-même par une troisième, et ainsi de suite, de manière à superposer les unes sur les autres un certain nombre de barres d'égale épaisseur, d'égale largeur, et présentant des longueurs décroissantes telles que les saillies soient toutes égales entre elles, ces barres fléchiront sous l'influence de la première, en ne se touchant que par les extrémités et en affectant toutes exactement la même courbure circulaire.

Les parties de barres en saillie sur les points d'appui fléchiront également en arcs de cercles si l'on a soin de leur donner la forme des solides d'égale résistance à partir des points de supports.

Ce raisonnement s'applique également à des lames de ressorts cintrées en courbes circulaires de rayons égaux que la charge redresserait.

Il en résulte qu'un ressort qui est composé de feuilles d'égale épaisseur doit avoir tous ses étagements égaux si elles sont cintrées sur la même courbure ; que les feuilles peuvent conserver toute leur épaisseur dans les parties recouvertes, et que les étagements doivent présenter la forme des solides d'égale résistance,

Partant de ce principe, M. Blacher établit d'abord une première formule qui donne les relations existant entre les diverses dimensions d'un ressort, la charge qu'il supporte et la flexion correspondante.

Cette formule, qui est relative à l'état général d'un ressort considéré d'une manière abstraite, c'est-à-dire qu'on suppose toujours capable d'un excès de résistance, donne lieu aux observations suivantes :

1° La flexion est proportionnelle à la charge, c'est-à-dire qu'à chaque addition partielle et constante de charge, correspond une flexion partielle et constante dans toute l'étendue de la flexion.

2° La flexion est en raison inverse du nombre de lames, c'est-à-dire que pour une charge double, il faut, toutes circonstances égales d'ailleurs, un nombre double de lames.

3° La flexion est proportionnelle au cube de la longueur développée du ressort.

4° La flexion est en raison inverse de la largeur et du cube de l'épaisseur des lames.

M. Blacher établit ensuite deux autres formules qui donnent les relations entre la flexion, les divers éléments du ressort, la charge qu'il supporte et la résistance propre à la matière dont il est composé. L'une d'elles donne le maximun de charge que puisse supporter un ressort, et l'autre la flexion correspondante.

Puis enfin il détermine approximativement le poids d'un ressort en fonction, de ses dimensions et du nombre de lames, et il constate par une dernière formule, qui exprime le travail d'un ressort en fonction de ses divers éléments, que ce travail ne dépend que de la qualité d'acier qui le compose, de quelque façon qu'on le distribue.

Après ce résumé du travail de M. Blacher, M. La Salle répète que les formules ne seraient applicables qu'à un ressort théorique qui serait composé de feuilles d'égale épaisseur, ne se touchant que par leurs extrémités, cintrées toutes indistinctement sur un même rayon de courbure, et dont les étagements seraient parfaitement égaux.

Il ajoute que toutes ces conditions ne sont pas rigoureusement réalisables en pratique, soit par suite des difficultés qui en résulteraient pour le travail, soit parce que certaines considérations forcent à les modifier, soit enfin parce que le défaut d'homogénéité de l'acier exige plusieurs artifices qui, en altérant la forme théorique des ressorts, altèrent aussi légèrement les conditions de son jeu.

M. Blacher fait d'ailleurs intervenir dans ses calculs un coefficient de résistance ou de rupture, qui ne peut être déterminé qu'en le déduisant des formules mêmes à l'aide d'expériences directes sur les ressorts; d'où il résulte que, si les ressorts qui ont servi à la détermination de ce coefficient ne sont pas des types parfaits, le coefficient lui-même n'offre pas de garanties suffisantes, et cela d'autant plus que les diverses natures d'aciers employées dans la fabrication des ressorts présentent de très grandes variations dans la limite de résistance à laquelle on peut les faire travailler.

Dans le travail que M. La Salle a lui-même présenté à la Société, il a suivi une autre voie; il a fait intervenir l'allongement proportionnel qui fournit un élément de calcul très convenable, et dont l'exactitude peut être plus facilement vérifiée par l'expérimentation.

Il a observé que l'acier fondu de première qualité pour ressorts était susceptible de subir un allongement de $0^{m}.003$ sans que son élasticité fût altérée; que de $0^{m}.003$ à $0^{m}.005$ l'élasticité n'était altérée que par une première épreuve, et que des épreuves successives n'accusaient pas sensiblement de nouvelle altération; qu'enfin au delà de $0^{m}.005$ ou $0^{m}.006$ l'altération se reproduisait indéfiniment jusqu'à la rupture ou la complète déformation.

Il conclut de là que, pour placer un ressort dans des conditions parfaites d'élasticité, il conviendrait de ne pas dépasser la limite d'allongement à $0^{m}.003$, du moins jusqu'à ce que l'expérience ait positivement démontré qu'on peut aller au delà sans compromettre la durée des ressorts; au reste, en ceci, il faut tenir compte des conditions de l'emploi, et, dans certains cas, on peut pousser plus loin le travail de l'acier.

Il signale que depuis quelque temps on a essayé un nouveau système de ressorts, dits compensateurs, qui sont composés d'un petit nombre de feuilles qui, à mesure qu'elles fléchissent, se déroulent sur une barre rigide. Ces ressorts, qui à la première vue paraissent plus légers que les ressorts ordinaires, sont dans de mauvaises conditions de solidité et de durée, parce que l'acier y travaille à sa plus grande limite, et le plus souvent à un allongement de $0^{m}.005$, dès que le milieu commence à se dérouler sous l'influence d'une charge quelconque.

Si l'on voulait faire travailler autant l'acier dans les ressorts ordinaires, on réduirait considérablement leur poids, qui deviendrait alors de beaucoup inférieur à celui des ressorts à compensateurs. Selon lui, le principe des ressorts à compensateurs n'est pas rationnel; il leur trouve un vice radical en

ce que leur sensibilité diminue à mesure que la charge qu'il supportent augmente, c'est-à-dire qu'ils perdent leur flexibilité précisément au moment où elle devrait être la plus grande possible. Plusieurs essais ont été faits de ce système au chemin du Nord, au chemin de Strasbourg; il ignore quels en ont été les résultats, mais il ne croit pas qu'ils aient pu être avantageux. Il est prêt, du reste, à répondre à toutes les objections qui pourront être faites, et il prie M. Polonceau, qui a fait récemment quelques expériences comparatives sur les deux systèmes, d'en faire connaître les résultats.

M. POLONCEAU explique que les nouveaux ressorts, se développant sur une barre rectiligne et se raccourcissant de toute la longueur appliquée sur cette barre, offrent un bras de levier de plus en plus petit à mesure qu'ils fléchissent. A la première inspection, il lui avait paru, comme à tout le monde, que, sous une charge déterminée, ces ressorts devaient agir à peu près de la même manière qu'un ressort ordinaire, plus court de toute la quantité en contact sur la barre rigide; l'expérimentation a montré que les ressorts à compensateurs présentaient une élasticité extraordinaire. Il ne veut rien préjuger de la question quant à présent; il s'occupe à déterminer le rendement des nouveaux ressorts; il rendra compte de ses expériences à la Société dès qu'elles seront terminées.

M. LA SALLE indique que le caractère qui distingue essentiellement les deux systèmes est la flexibilité.

Dans les ressorts ordinaires, la flexibilité est proportionnelle à la charge; dans les ressorts à compensateur, au contraire, la flexibililité décroît rapidement à mesure que les bras de leviers diminuent sous l'influence d'une augmentation de charge, puisque la flexion est en raison directe du cube des longueurs.

Dans les expériences faites au chemin de fer d'Orléans, on s'est appliqué à charger d'abord chacun des ressorts soumis à l'essai d'une charge permanente de 2,500 kilog. puis d'une charge additionnelle de 1,000 kilog., qui, étant subitement enlevée à un moment donné, a provoqué une réaction du ressort, qui s'est manifestée par des oscillations plus nombreuses pour le ressort à compensateur que pour le ressort ordinaire.

On en a conclu que le premier était plus élastique. Mais il faut observer que, le ressort ordinaire étant composé d'un plus grand nombre de feuilles, il a à vaincre des frottements plus considérables; que, par conséquent, ses oscillations doivent s'éteindre plus rapidement. Suivant lui, ce frottement des feuilles est une qualité lorsqu'il n'est pas exagéré, parce qu'il empêche précisément que les oscillations se perpétuent. Un ressort ne doit pas être absolument élastique, la condition principale est qu'il soit flexible; quant au frottement, il absorbe à son profit une partie du travail développé par le choc.

UN MEMBRE n'est pas du même avis quant au frottement: car, si l'opinion de M. La Salle était exacte, les anciens ressorts seraient excellents, et il n'en est rien. Les ressorts doivent avoir une grande flexibilité, ils doivent fléchir beaucoup quand ils sont très chargés; le frottement doit nuire à cette flexibilité.

M. LA SALLE répond que, si le frottement est utile dans une certaine limite il ne faut pas qu'il soit excessif, comme dans les anciens ressorts. Pour être doux, un ressort doit être flexible et produire des oscillations d'amplitudes déterminées: il ne faut donc pas que le frottement soit assez considérable

pour détruire la flexibilité du ressort ; c'est pour cela qu'il y a intérêt à faire faire les ressorts le plus longs possible, parce que, ceux-ci pouvant être composés d'un moins grand nombre de feuilles, ils présentent moins de surface de frottement. Mais il y a des cas où trop d'élasticité devient nuisible.

Il a exécuté pour les messageries des ressorts composés de 5 à 6 feuilles de 10 millimètres d'épaisseur. Ces ressorts étaient très doux sous de fortes charges ; mais ils l'étaient moins lorsque les voitures étaient à vide, et leur occasionnaient dans l'un et l'autre cas un grand balancement. On a depuis lors subsistué à ces ressorts d'autres ressorts, composés d'un plus grand nombre de feuilles, plus minces, qui présentaient sensiblement la même flexibilité et le même poids. Ces derniers, qui présentaient plus de frottement, ont été préférés.

UN MEMBRE demande si l'effet que l'on attribue au frottement ne doit pas être plutôt attribué à la charge initiale que l'on donne au ressort. On a cherché à diminuer l'amplitude des oscillations, et, pour cela, on a donné aux ressorts une tension initiale équivalente à une certaine charge, pour un poids correspondant, au poids d'une voiture vide et d'une portion du poids des voyageurs, de telle sorte que l'abaissement du wagon à l'entrée des voyageurs était peu sensible : c'était déjà une amélioration, et pour les tampons et pour les oscillations verticales. Maintenant on veut faire plus, on cherche à donner aux ressorts de plus grandes amplitudes d'oscillation, et l'on demande au frottement de servir, pour ainsi dire, de frein à ces oscillations. Il faut faire des ressorts tels que la charge qu'ils ont à supporter les fasse varier entre deux et trois millimètres : ils donneront alors tout à la fois des oscillations courtes et un bon travail.

M. LA SALLE répond que la douceur d'une suspension dépend de la flexibilité des ressorts ou de l'amplitude des oscillations qu'ils sont susceptibles de prendre dans leur jeu, et qu'on ne peut diminuer ces quantités sans nuire à la douceur de la suspension. Que se passe-t-il dans les ressorts des chemins de fer, et en général dans tout ressort destiné à suspendre un véhicule quelconque ? Le ressort est d'abord chargé d'un poids permanent, et c'est sous l'action des mouvements imprimés à cette charge permanente par l'action des forces extérieures que son équilibre est troublé. Ces forces extérieures ont-elles jamais pour effet de diminuer la tension du resort ? Bien certainement non ! Elles tendent au contraire à augmenter la flexion, à imprimer momentanément une flexion plus grande que la flexion initiale provoquée par la charge permanente au repos. Les expériences du chemin de fer d'Orléans ne donnent donc point l'idée de ce qui peut se passer sous l'influence d'un choc ; elles montrent tout au plus comment chacun des deux ressorts réagit.

En effet, tout choc ou toute cause extérieure qui vient troubler l'allure régulière d'un véhicule en mouvement détermine une quantité de travail négatif qui est en quelque sorte dérobé au travail utile de la traction, et qui se manifeste par des mouvements différents du mouvement régulier de translation.

Le choc est d'ailleurs une cause de perturbation inévitable, parce qu'elle tient à des défauts inhérents à la voie. On ne peut donc anéantir les chocs,

il faut nécessairement qu'ils se produisent; mais on peut transformer les mouvements brusques et instantanés qu'ils engendrent; on peut transformer le travail de dislocation qu'ils déterminent en un mouvement moins brusque, en un autre travail équivalent qui ne disloque pas et n'incommode pas le voyageur.

C'est là précisément le rôle que les ressorts sont appelés à jouer; ils doivent déterminer un travail de balancement ou d'oscillations verticales propres à allonger la durée du choc. L'amortissement du choc n'a lieu que par les mouvements que prennent les véhicules autres que celui de translation directe dans le sens de la marche. Si ces mouvements se font brusquement dans de courts espaces, ils se traduisent en secousses plus ou moins violentes qui tendent à disloquer l'économie du système mis en mouvement; si au contraire ils prennent plus d'espace, la durée de leur action s'allonge, et ils se transforment en balancement plus doux. Or, comme cet espace est précisément dû aux ressorts interposés entre la voie fixe et la masse en mouvement, il faut que ceux-ci soient très flexibles pour produire de bons effets.

Pour rendre la chose plus intelligible, qu'on suppose deux ressorts, l'un très flexible, l'autre très peu flexible; qu'on laisse tomber sur chacun deux un même poids d'une certaine hauteur : le premier ressort, obéissant à l'action de cette masse en mouvement, s'affaissera d'une grande quantité, tandis que le second s'affaissera à peine. Il est clair que, dans le premier cas, le choc sera mieux amorti, ou, si l'on veut, mieux transformé que dans le second. Dans le premier cas, la vitesse du corps qui tombe s'éteindra graduellement, en y mettant le temps que le ressort met à fléchir; dans le second cas, le passage du mouvement au repos sera presque instantané.

Il est d'ailleurs évident que, lorque la flexion est arrivée au bas de sa course, le choc est amorti, et que, si le ressort était capable de se tenir en repos à ce moment, il présenterait les meilleures conditions comme appareil amortissant; mais, en raison de l'élasticité propre à la matière qui le compose, il se trouve bandé; il demande à revenir à sa forme primitive, à remette par conséquent la masse en mouvement, parce qu'il devient à son tour force agissante : il crée donc d'autres mouvements complétement inutiles pour l'amortissement du choc, mais qui sont inévitables, parce qu'il est urgent que le ressort soit en état de reprende sa forme pour être capable de fonctionner de nouveau.

L'élasticité est donc une qualité essentielle pour la matière qui compose le ressort, afin que celui-ci se trouve continuellement en état de fonctionner; mais la qualité essentielle pour amortir le choc est la flexibilité. La réaction est utile pour préparer le ressort à de nouveaux chocs, elle est une conséquence nécessaire de l'élasticité de la matière qui constitue le ressort; mais elle est inutile pour l'amortissement, elle perpétue au contraire des mouvements qui n'auraient pas lieu si elle n'existait pas. Tout cela prouve suffisamment que le frottement n'est point une condition nuisible quand il ne s'oppose pas à la flexibilité du ressort; au contraire, il absorbe à son profit une portion du travail amortissant, et il s'oppose à ce que les réactions soient aussi vives ou aussi nombreuses, parce qu'il les amortit à son tour.

Or, dans les chemins de fer, on ne peut exagérer la flexibilité des ressorts; elle se trouve limitée, parce qu'on ne peut admettre des différences de niveau

de plus de 3 à 4 centimètres entre des wagons qui se succèdent dans un train et qui sont inégalement chargés ; il importe avant tout que les tampons ne puissent être faussés par les chocs.

A l'époque où l'on a établi le matériel du chemin de fer de Tours à Nantes, les ressorts de suspension de voitures du chemin de fer du Nord avaient une flexibilité d'environ 6 mill. par 100 kilog. ; l'affaissement des tampons sous la charge additionnelle de voyageurs était par conséquent de 35 à 40 mill. Cette suspension laissait beaucoup à désirer. Pour obtenir une suspension plus douce que celle du chemin du Nord, il s'agissait de faire des ressorts plus flexibles : on porta cette flexibilité à 12 mill. par 100 kilog., et, pour éviter un abaissement des tampons, qui eût été de 70 à 80 mill. si la charge eût été directement appliquée sur le ressort, on les mit en place sous une tension initiale égale à la charge totale qu'ils devaient porter. Il est résulté de cette disposition que l'affaissement des tampons a été réduit de moitié, et que l'on a obtenu une suspension d'autant plus douce que la voiture est plus complétement chargée. C'est un artifice qui a été employé pour remédier à l'abaissement du niveau des tampons, et non point, comme on l'a dit, pour diminuer l'amplitude des oscillations.

Dans les voitures de Tours à Nantes, au contraire, l'amplitude des oscillations qui se manifestent durant la marche est plus grande qu'au chemin du Nord, et c'est uniquement à cela qu'on doit attribuer le plus de douceur de la suspension.

La sensibilité des ressorts est telle, qu'un seul voyageur, en se remuant avec force sur un marche-pied, imprime à la voiture un grand balancement, tandis qu'au chemin du Nord il peut à peine lui imprimer un mouvement apparent.

Bandages sans soudure.

UN MEMBRE rappelle ensuite l'attention de la Société sur les nouveaux bandages sans soudure de MM. Petin et Gaudet. Des bandages de cette nature fournis au chemin de fer du Nord ont pu être appliqués absolument sans tournage. Une seule difficulté s'est présentée pour l'emploi de ces bandages à tous les chemins de fer, c'est la différence de profil, qui exigerait un nombreux matériel, tandis que, si tous les chemins pouvaient adopter le même profil, le coût des bandages pourrait être beaucoup diminué.

SÉANCE DU 1er AOUT 1851.

Présidence de M. Polonceau, vice-président.

Construction des locomotives. — Echappement variable. — Qualité relative des cokes.

M. LA SALLE rend compte de la notice qu'il a déposée le 6 décembre 1850, relative à l'échappement variable à orifice annulaire.

Il expose que l'échappement dont il s'agit date de 1845 : à cette époque, les machines locomotives étaient loin d'avoir le grand développement de surface de chauffe qu'elles ont aujourd'hui ; le coke employé était de médiocre qualité ; on ne faisait pas alors usage du coke lavé ; les machines ne produisaient pas aussi facilement la vapeur, et l'échappement variable était peut-être la ressource la plus importante que le mécanicien eût à sa disposition pour la conduite de sa machine. Il y avait donc tout intérêt à perfectionner un organe aussi essentiel.

La question ne présente peut-être plus aujourd'hui le même degré d'intérêt ; cependant l'utilité d'un perfectionnement réel serait incontestable : l'échappement est une des parties qui ont été le moins étudiées et sur lesquelles il reste le plus à faire. M. La Salle espère qu'il pourra être de quelque intérêt pour la Société de connaître le résultat de ses études à cet égard.

Son mémoire fut rédigé il y a trois ans, et présenté à M. Polonceau, qui voulut bien faire l'application de l'échappement à orifice annulaire à une machine à marchandises.

L'appareil fonctionna pendant une couple de mois, et parut donner de bons résultats. On essaya plus tard de replacer l'ancien échappement ordinaire à clapets pour comparer les deux systèmes ; mais les préoccupations du service du chemin d'Orléans, qui s'organisait sur de nouvelles bases, empêchèrent de donner suite à ces essais. Aujourd'hui ils vont être repris de nouveau avec une machine à voyageurs.

L'échappement variable à orifice annulaire proposé par M. La Salle est fondé sur ce principe, que le tirage produit par un jet de vapeur est dû au frottement de la colonne de vapeur sur l'air ambiant, lequel se trouve ainsi entraîné par une force proportionnelle à la résistance qu'il oppose.

Par suite, plus la colonne de vapeur qui s'écoule présentera de surface frottante, plus y aura d'air directement entraîné, et il doit être avantageux d'augmenter le périmètre de la section de l'orifice d'échappement, sans toutefois augmenter cette section.

L'appareil que propose M. La Salle pour atteindre ce but est tout simplement un tuyau à section annulaire formé de deux tubes concentriques auquel viennent aboutir, en s'évasant et en s'aplatissant successivement, de manière à conserver sensiblement la même section, les deux tuyaux de dégagement.

Ceux-ci viennent se raccorder à la partie inférieure du tuyau annulaire dont chacun d'eux embrasse la moitié de la section inférieure. L'air ou les gaz arrivent autour de l'orifice annulaire, en longeant les surfaces extérieures des deux tubes concentriques.

L'appareil ainsi disposé présente assez d'analogie avec une lampe à mèche cylindrique dont la flamme figurerait le jet de vapeur.

La paroi extérieure du tuyau annulaire est renflée vers son milieu de manière à présenter sur le sommet une pente conique, et dans l'intérieur du tuyau se trouve un régulateur également conique et annulaire qui, se mouvant verticalement le long du tube cylindrique intérieur, vient rétrécir à volonté l'orifice de l'échappement.

Ce régulateur peut être facilement manœuvré par un système de leviers placés en dessous de l'échappement ; il est, à cet effet, ménagé au régulateur une entretoise qui s'engage dans les deux coulisses pratiquées à la paroi inférieure du tuyau annulaire.

Ainsi disposé, en conservant sensiblement la même section pour l'écoulement de la vapeur, l'échappement à orifice annulaire présente un périmètre trois fois plus grand que celui de l'échappement ordinaire ; et, en faisant varier les positions du régulateur, les périmètres décroissent rapidement dans l'échappement ordinaire et restent sensiblement les mêmes dans l'échappement à orifice annulaire, en sorte que, par exemple, pour la position du régulateur qui réduit la section de moitié, les périmètres se trouvent être dans le rapport de 1 à 4.

UN MEMBRE a rendu compte de l'expérimentation qui a eu lieu de l'échappement à orifice annulaire dont l'application a été faite, au chemin de fer d'Orléans, à une machine à marchandises à six roues couplées.

Pendant le mois de mai qui précéda cette application, cette machine a consommé, avec l'échappement ordinaire à clapets et avec sa cheminée de $0^{m}.33$ de diamètre intérieur, $9^{k}.11$ par kilomètre, sur un parcours de 968 kilomètres.

Pendant les mois de juin et de juillet, la même machine a fonctionné avec l'échappement annulaire et une cheminée de $0^{m}.40$; le parcours a été de 3,146 kilomètres, et la consommation moyenne de $8^{k}.48$ par kilomètre.

Dans le courant du mois d'août, l'échappement ordinaire a été replacé, en conservant la cheminée de $0^{m}.40$; la machine a fonctionné successivement avec les deux échappements, et la consommation moyenne du mois entier est remontée à $9^{k}.01$, sur un parcours de 1,694 kilomètres.

Enfin, le mois suivant, elle s'est élevée à $9^{k}.60$ par kilomètre pour un parcours de 8,170 kilomètres, effectué en totalité avec l'échappement ordinaire et la cheminée de $0^{m}.40$.

Les conditions de service et de charge remorquée ont été les mêmes pendant toute la durée de la marche avec les deux systèmes d'échappement.

La différence de consommation à l'avantage de l'échappement annulaire ,

quoique apparente, n'est cependant pas assez importante pour qu'on puisse l'attribuer entièrement au système de l'échappement. Il est certain que la consommation d'une machine varie souvent dans des limites plus larges sans qu'aucun changement y soit apporté; mais il est un fait important à constater, c'est que pendant tout le temps que cette machine a fonctionné avec l'appareil de M. La Salle elle s'est tenue au premier rang parmi celles de même type qui ont circulé dans les mêmes circonstances.

La marche de la machine avec l'échappement annulaire a donné lieu à cette observation, que la production de vapeur est plus abondante qu'avec l'échappement ordinaire pour la même section de sortie.

La conséquence naturelle à tirer de ce fait serait un plus grand effet utile de la vapeur employée comme tirage.

Au reste, l'appareil de M. La Salle avait, à peu de chose près, les mêmes proportions que l'appareil ordinaire. La machine a presque constamment fonctionné avec l'échappement grand ouvert, et tout porte à croire que, si ce dernier eût pu fournir une section plus grande, on eût pu en tirer avantage pour diminuer la contre-pression.

Les résultats obtenus dans cette première expérience sont de nature à encourager à faire de nouveaux essais. Il faut espérer que, si du premier jet, l'échappement annulaire s'est placé au premier rang, on arrivera par une série d'expériences, en variant le diamètre de la cheminée, en variant aussi les proportions de l'appareil, à améliorer d'une manière plus notable encore les résultats.

L'entraînement des gaz dans la cheminée est beaucoup plus énergique à travers le tube intérieur qu'autour du tube extérieur; ce fait semble indiquer la nécessité d'augmenter la section du passage des gaz par le milieu de l'échappement, afin d'équilibrer les vitesses.

Il termine son rapport en disant que, comme prix de revient et comme facilité de construction, l'appareil annulaire est plus avantageux que l'échappement à clapets. Il peut être appliqué avec facilité à la plupart des machines et être manœuvré très commodément par un mécanisme simple et pratique.

Le prix de revient d'un appareil complet peut être évalué à 92 fr. pour l'échappement à orifice annulaire, et à 103 fr. pour un échappement ordinaire de mêmes proportions, les frais généraux étant appliqués, dans l'un et l'autre cas, à raison de 75 0/0 sur la main-d'œuvre.

A ces observations M. La Salle ajoute qu'il ne croit pas que le changement d'un seul organe, bien qu'il comportât un perfectionnement notable, puisse accuser des résultats bien tranchés.

Dans une machine, tous les organes, tous les éléments de sa constitution, se lient étroitement entre eux, un changement apporté à l'un des plus importants doit nécessairement provoquer des modifications aux autres, pour établir l'harmonie qui doit exister entre leurs différentes fonctions.

Ce n'est d'ailleurs pas du premier coup qu'on peut espérer, surtout en l'absence de toute donnée expérimentale, d'atteindre le meilleur résultat ou le plus haut degré de perfectionnement que peut comporter un principe.

UN MEMBRE aurait désiré que les expériences faites avec l'échappement de M. La Salle et la cheminée de 0m.40 eussent été reprises avec la pre-

mière cheminée de $0^m.33$; il pense que les cheminées trop grandes peuvent produire de mauvais effets, et que, dans tous les cas, les cheminées doivent être appropriées aux échappements.

UN MEMBRE rappelle que l'on a fait une triple expérience, dont les deux dernières parties ont été faites avec la même cheminée de $0^m.40$, et chacun des deux échappements comparés ; toutes ces expériences ont d'ailleurs été faites par le même mécanicien.

Ce membre explique qu'au chemin de fer d'Alsace on a fait d'abord un essai en prenant un jet de vapeur sur la chaudière d'une machine fixe, et, le lançant dans une cheminée au bas de laquelle on plaçait sur le doigt des corps de différents poids, on a trouvé que la vapeur sortie de l'échappement annulaire enlevait des poids qui ne pouvaient être soulevés en employant les autres échappements.

Cependant il n'est pas aussi exclusif que M. La Salle au sujet de l'entraînement de l'air par le frottement seul ; il pense que l'influence de l'épanouissement qui ferait agir la vapeur comme un piston doit être prise en considération.

Selon lui, un jet intermittent donne, par l'effet du piston, de bien meilleurs résultats qu'un jet continu. L'un des effets principaux de l'échappement annulaire est d'augmenter l'épanouissement et de produire un appel plus fort au centre qu'à la circonférence.

Il ajoute qu'en faisant des cheminées polies et à rivets brasés on augmente beaucoup le tirage, et qu'il faut toujours éviter les frottements dans l'intérieur des cheminées ; tout obstacle, toute valve placée dans un jet de vapeur, nuit à son écoulement, et l'on améliore beaucoup les échappements par le seul adoucissement des coudes des tuyères.

UN MEMBRE ne croit pas qu'il y ait là rien d'absolu ; les meilleurs échappements, au chemin de fer du Nord, sont ceux qui, par la même section d'échappement, donnent le plus de surface frottante, et les contournements peuvent se rencontrer à la seule condition que les angles soient assez doux ; il est avantageux de diriger long-temps la vapeur dans le sens de l'échappement, en ne faisant pas, toutefois, rencontrer trop directement les jets des deux tubes.

UN AUTRE MEMBRE pense que l'on doit surtout éviter les remous, qu'ils soient produits par un changement brusque de forme ou par la rencontre d'un obstacle.

On ajoute que les échappements de l'*expansion* sont avantageux en ce qu'ils n'obstruent nullement les cheminées.

M. LA SALLE les trouve trop grands, et pense qu'ils détendent trop la vapeur.

On fait observer que les avantages signalés dans les échappements à tubes contournés du chemin de fer du Nord ont peut-être pour cause une élévation de la température produite dans les tubes, qui circulent à l'intérieur, au lieu de circuler à l'extérieur, comme dans les autres systèmes. Cette élévation de température, tout en augmentant le volume de la vapeur et augmentant par conséquent la durée de l'écoulement, peut aussi, par le travail moléculaire qui se produit et par la vaporisation de l'eau entraînée occasionner une accélération de vitesse.

UN MEMBRE croit que la vitesse d'écoulement est trop grande pour que les effets supposés aient le temps de se produire ; il n'a jamais remarqué que le transport vertical de la vapeur ait donné de meilleurs résultats que le transport horizontal; il croit que les effets observés par M. Nozo tiennent à une autre cause, et que ce dont il faut surtout se préoccuper, c'est de la suppression des remous.

UN AUTRE MEMBRE insiste sur ses observations, et rappelle qu'en Angleterre on ne fait pas usage de l'échappement variable.

On répond qu'en Angleterre, où le charbon se trouve à si bon marché, on n'a pas étudié aussi bien qu'en France la question des échappements, et que, si la consommation par kilomètre y est encore moindre qu'en France, cela tient à ce que le coke y est bien supérieur en qualité.

M. LA SALLE ajoute qu'en Angleterre on produit, dans certaines circonstances, avec 3k. 75 seulement de coke, les effets pour lesquels il est nécessaire d'employer 6 kil. de coke français.

On fait observer que le coke employé au chemin de fer du Nord s'est beaucoup amélioré depuis que l'on applique le lavage aux houilles ; que les ouvriers préfèrent le coke français; qu'ils ont pu souder 5 bandages avec le coke de la Grappe, tandis qu'ils n'en ont pu souder que 4 avec le coke anglais.

UN MEMBRE dit que cette expérience n'est pas concluante, attendu que le coke de forge doit être le plus léger possible, et que le coke anglais est très dense ; et il est certain que les cokes lavés de Saint-Etienne, qui donnent plus de vapeur que les cokes du Nord, sont cependant encore inférieurs aux cokes anglais.

M. LA SALLE ajoute que, pour que les essais soient concluants, il faut que les forgerons soient habitués aux cokes qu'ils emploient.

UN MEMBRE constate que l'on a fait des essais comparatifs des différents cokes pour l'usage des locomotives, et que les cokes anglais ont été reconnus supérieurs, et seraient toujours préférés si leur prix de revient n'était pas trop élevé.

SÉANCE DU 22 AOUT 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

Il est donné lecture d'une note de M. Bridel sur l'emploi de la tourbe à l'usine d'Undreveillers, dans le canton de Berne, en Suisse, pour la fabrication du fer.

SÉANCE DU 5 SEPTEMBRE 1851.

Présidence de M. Auguste Perdonnet.

M. **DEGOUSÉE** est invité à donner à la Société quelques renseignements sur le voyage qu'il vient de faire à Constantinople, appelé par le Sultan pour aviser aux moyens d'améliorer le système d'alimentation d'eau de cette ville.

Depuis Constantin, on se procure de l'eau à Constantinople au moyen de barrages construits en marbre blanc qui ferment les gorges des versants, et font des étangs qui retiennent une grande masse d'eau. Les versants, imparfaitement entretenus, ont fini par se couvrir d'herbes et de ronces qui obstruent le passage de l'eau et l'empêchent d'arriver en quantité suffisante aux bassins; cette eau traverse ensuite des conduits souterrains ou des aqueducs, construits, les uns par Constantin et Justinien, les autres par les sultans. La plupart, grâce au défaut d'entretien, sont aujourd'hui, à l'intérieur, dans un si mauvais état, qu'il était sérieusement question de les reconstruire.

M. Degousée a pensé qu'il suffirait d'abord de nettoyer les versants sur une étendue de 100 hectares, en les débarrassant des herbes et des ronces qui les obstruent, et d'y faire 100 kilomètres de rigoles pour faciliter la prompte arrivée de l'eau aux bassins, et éviter les charriages et éboulements, qui ne tarderaient pas à les combler sans cette précaution. Il a proposé de conserver à l'art les aqueducs en posant dans leurs conduits, qui ont $0^{m}.66$ de diamètre, des tubes en fonte de $0^{m}.40$ à $0^{m}.50$ de diamètre, dont la fourniture et la pose ne s'élèveraient pas au dixième de ce que coûteraient les reconstructions.

M. Degousée signale comme très curieux dans les constructions arabes ce qu'ils appellent des *souterrazis*, ou équilibres d'eau, employés par eux pour traverser les larges vallées, des passages d'une montagne à une autre, des contournements difficiles. Dans ces différentes circonstances, où des aqueducs qui devraient avoir quelquefois 4, 5 et 6 kilomètres, seraient très coûteux à établir, ils font descendre l'eau dans des tubes ou dans des tunnels construits en forme d'œuf, avec des briques et du mortier composé de chaux maigre et de briques pilées, et de telle sorte que la couche de mortier est ordinairement plus épaisse que l'assise de briques.

Ces tunnels suivent les ondulations du terrain sur 150 à 200 mètres, pour venir remonter dans une tour, où l'eau se déverse dans une cuvette placée au sommet, et redescend ensuite dans un tube qui suit les ondulations du terrain, pour agir de la même manière dans une autre tour.

Ce système est très peu coûteux, et ne fait perdre à chaque colonne qu'une hauteur d'eau égale au diamètre du tuyau éjaculateur.

Toute la partie comprise entre Pera-Galata et la mer Noire est formée d'un terrain de transition dans lequel toute recherche d'eaux souterraines serait inutile.

De la pointe du Sérail, les terrains tertiaires, au contraire, s'étendent jusqu'à San-Stephano et les Dardanelles, et remontent jusqu'à la porte d'Andrinople et au delà. C'est dans ces localités que M. Degousée a conseillé l'emploi des sondages artésiens, qui produiront certainement des sources d'eaux jaillissantes. Lorsqu'ils seront exécutés sur des points peu élevés et resteront en contrebas du sol sur les points culminants, alors l'eau sera élevée au sol au moyen de pompes.

Dans la partie élevée de Constantinople, les eaux arrivent par une espèce de drainage qui réunit leurs eaux dans un réservoir, d'où des conduites et aqueducs les mènent à la porte d'Andrinople.

L'eau est très chère dans toute la ville; en été, les distributions publiques aux fontaines ne sont que de deux litres par individu dans les quartiers turcs; dans les quartiers francs, de moins d'un demi-litre.

Ce sont des quantités bien minimes pour un peuple qui ne boit pas de vin et se livre à des ablutions si fréquentes (1).

M. Degousée a engagé le gouvernement à faire construire dans les casernes des citernes dans le système vénitien. Ces citernes, qui existent à Venise depuis le XI[e] siècle, sont de grandes excavations enveloppées d'un glaisage de 1 mètre d'épaisseur et remplies de sable de mer fin qui peut enfermer un tiers de son volume d'eau, qu'il filtre pendant des siècles sans l'altérer ni la corrompre.

La dépense de chaque citerne, pouvant contenir 700,000 litres d'eau, est évaluée par M. Degousée à environ 50,000 fr., à cause des prix énormes des transports, qui se font à dos d'âne. Les projets ont été acceptés.

M. DEGOUSÉE ajoute que la Turquie, si riche en mines, emploie le plus mauvais système pour les exploiter. Là où les concessions devraient être perpétuelles, on n'accorde que des concessions de vingt ans; il en résulte que les concessionnaires effleurent les mines pour en prendre les meilleures parties, et rendent souvent les travaux ultérieurs impossibles.

Tout est à faire dans ce pays, où il n'y a pas même de route de Constantinople à Andrinople, où tous les transports se font à dos d'âne ou à dos de chameau.

Les Turcs ont jusqu'à présent traité avec les Arméniens, qui leur ont fait payer leurs services à des prix fabuleux, et M. Degousée ne doute pas que d'ici à peu de temps les ingénieurs français ne trouvent en Turquie des débouchés très avantageux, le gouvernement ayant une préférence marquée pour nos nationaux.

---

(1) L'eau se vendait cet été 50 c. et même 1 fr. l'hectolitre.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE LONDRES.

M. Ch. Callon communique ensuite à la Société les renseignements suivants sur l'exposition universelle de Londres.

MACHINES DE BATEAUX A VAPEUR.

Ainsi que l'a déjà remarqué M. Hubert, la machine la plus importante de l'exposition est celle de MM. James Watt et Ce, destinée à un bateau à hélice.

Elle se compose de quatre cylindres horizontaux, placés deux à bâbord et deux à tribord, et attelés sur un arbre à double coude placé dans le sens de la longueur du navire. La vitesse de cette machine n'est pas aussi considérable qu'on pourrait le croire au premier aspect, car l'arbre coudé ne fait que 65 révolutions par minute, ce qui, pour une course de $0^{m}.91$, répond à une vitesse moyenne de $1^{m}.90$ par seconde.

Si le constructeur a entendu transmettre le mouvement directement à l'hélice, il faut que cette hélice ait des dimensions considérables. (Elle n'est point exposée.)

La machine est à basse pression; sa force totale est de 700 chevaux; les cylindres, de $1^{m},32$ de diamètre sur $0^{m},91$ seulement de course, proportion motivée par la position des cylindres en travers du bateau, et surtout par l'usage que le constructeur a fait de contre-tiges qui ont absorbé une grande partie de la largeur disponible.

L'emplacement occupé par la machine est de 7 mètres sur la longueur du bateau, et de 10 mètres sur la largeur.

Le centre de gravité du système est très abaissé au dessous de la ligne de flottaison, avantage précieux pour un steamer appelé à tenir la mer. Le constructeur a pris en outre beaucoup de précautions pour que la machine soit parfaitement solide (elle repose sur une plaque de fondation générale) et parfaitement équilibrée par le travers. A cet effet, il a placé les pompes d'alimentation à bâbord, et le mécanisme de la distribution qui les équilibre à tribord; la distribution de chaque cylindre de bâbord est liée à celle du cylindre correspondant de tribord par une bielle fendue qui s'ouvre pour laisser passer l'arbre de couche.

Les pompes à air sont placées entre les deux cylindres de chaque côté, et inclinées. Elles sont commandées par l'arbre moteur, et marchent environ un tiers moins vite que les pistons à vapeur.

Malgré l'adoption de la basse pression et la solidité parfaite donnée à toutes les pièces, le poids, y compris les chaudières remplies d'eau, est de 500 kil. seulement par cheval.

Vient ensuite la machine de Stothert, Slaughter et Ce, de Bristol. Elle présente l'aspect général de la machine à deux cylindres fixes et inclinés de Brunel, mais *renversée*, c'est-à-dire que les axes des deux cylindres, au lieu de converger vers un arbre coudé placé au milieu et *au dessus* d'eux, convergent vers un arbre placé *en contrebas*.

Le but de cette disposition est d'abaisser le plus possible l'arbre coudé, qui est celui de la vis ou organe propulseur.

L'action, comme on voit, est directe, et le constructeur a donné à son arbre une vitesse de 128 tours par minute (pour une puissance de 100 chevaux).

Mais, au moyen d'une paire d'engrenages retardateurs, il a réduit la vitesse de ses pompes à air à 40 coups doubles par minute (celle qu'elles ont dans les machines à roues de la même puissance).

Il a fait breveter cette disposition, qui rend la vitesse de l'hélice indépendante de celle des pompes à air, et réciproquement. D'où il suit que le constructeur est maître de choisir, d'une part, pour son propulseur, une vitesse aussi grande que l'exige le maximum d'effet utile; d'autre part, pour ses pompes à air, une vitesse aussi réduite qu'il croit devoir le faire pour satisfaire à la condition du minimum d'usure et de réparations.

Malheureusement la disposition adoptée ne paraît pas se prêter aux exigences de l'entretien et des réparations. Les pièces de transmission de mouvement aux pompes à air sont trop ramassées, et, chaque pompe étant placée sous le cylindre à vapeur qui lui correspond, les réparations de ces pompes exigent un démontage long et pénible. La position des cylindres au dessus de leur arbre coudé rend difficile le graissage des boîtes à étoupe.

MM. Penn et Ce, de Greenwich, ont aussi exposé une machine de bateau à hélice pour la navigation maritime dont la disposition générale mérite d'être mentionnée.

Elle consiste en deux cylindres horizontaux, parallèles et situés du même côté de l'arbre de l'hélice. De l'autre côté de cet arbre sont les deux pompes à air à piston plein et *à double effet*, marchant directement par les pistons moteurs et *avec la même vitesse qu'eux*. Aussi le diamètre des clapets et des conduits de ces pompes à air est-il égal, sinon supérieur, à celui des pistons eux-mêmes.

Il paraît difficile que le poids des pompes à air compense exactement le poids des cylindres à vapeur et de leur bâti, fortement relié avec celui de l'arbre; en d'autres termes, le centre de gravité de la machine ne doit pas être exactement dans le plan vertical de l'axe de l'hélice, comme cela a lieu dans la machine de James Watt et Ce.

L'autre condition, spéciale en quelque sorte aux machines à hélice, et qui consiste à ramasser le plus possible la machine dans le sens de la largeur du bateau, est remplie, dans la machine horizontale de Penn, par un dispositif de piston à vapeur annulaire faisant corps avec un tube d'au moins 0^{m}.25 de diamètre qui traverse les couvercles du cylindre dans deux presse-étoupes; au centre de ce tube, et par conséquent au centre du piston moteur, est articulée la bielle correspondante. — On économise ainsi un emplacement égal à la demi-course des pistons.

Nous allons retrouver plus bas le même dispositif ou des dispositifs analogues dans les machines verticales, où la nécessité d'économiser la place dans le sens de la *hauteur* se fait sentir, comme celle d'économiser la *largeur* dans les machines horizontales à hélice.

Les tubes, ouverts par les deux bouts, de ces pistons annulaires, ont évi-

demment un grand défaut, celui de causer un refroidissement considérable dans l'intérieur des cylindres.

On atténuerait un peu ce refroidissement en fermant chaque tube du côté opposé à la commande par un couvercle amovible au besoin.

La machine exposée est de 60 chevaux. Elle est très ramassée et son centre de gravité très abaissé, car il est plutôt au dessous qu'au dessus de l'axe de l'hélice, lequel n'est en contrehaut de la plate-forme commune aux cylindres à vapeur, à l'arbre et aux pompes à air, que de la quantité strictement exigée par le rayon des manivelles.

MM. Penn et Ce ont aussi exposé un appareil de 24 chevaux, à roues, composé de deux machines verticales oscillantes, à basse pression, qui n'ont rien de particulier.

L'une des roues est à palettes fixes et l'autre à palettes mobiles, exactement sur le modèle de M. Cavé; toutes deux sont très légères et très bien exécutées. Au moyen d'un dispositif de bras obliques qui se dirigent et se fixent sur un tourteau unique de forme convenable situé au milieu de la largeur de la roue, l'arbre de cette roue se trouve avoir très peu de porte-à-faux sur le flanc du navire; un seul palier, placé tout près et en arrière du tourteau, et solidement rattaché à la coque, suffit pour porter la roue, et dispense du palier fixé ordinairement à la paroi extérieure du tambour.

Cette disposition est bonne pour de petits bateaux ayant des roues d'une largeur modérée.

M. Atherton, de Devonport, a exposé un appareil de 25 chevaux, pour la mer, consistant en deux machines couplées et composées chacune d'un cylindre vertical, d'un balancier, d'une bielle et d'un arbre à manivelle disposés comme dans la machine fixe de Watt; seulement, pour ramasser le plus possible sa machine en hauteur, le constructeur a supprimé le parallélogramme, et a lié le balancier au centre du piston moteur par une bielle qui passe et oscille dans un tube servant comme de tige creuse au piston.

Comme les constructeurs anglais paraissent donner cette disposition comme originale et nouvelle, il est bon de rappeler qu'elle a été exécutée en France il y a déjà nombre d'années (voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, mars 1836), et rien ne prouve même que cette machine de 1836 soit la première où l'on ait fait usage d'une tige creuse pour supprimer le parallélogramme et abaisser le balancier.

Quoi qu'il en soit, M. Atherton a profité de cet abaissement de son balancier pour en supporter l'arbre ou essieu sur le condenseur, auquel il a donné une forme appropriée à cet objet. Cet emploi du condenseur à deux fins amène une économie de poids dans l'appareil.

MM. Maudslay et Field, de Londres, ont exposé un grand nombre de modèles de machines de bateau parfaitement exécutés. Le but de cette collection paraît être de rappeler les dispositions générales des machines de navigation exécutées à différentes époques par la maison Maudslay, et appropriées, soit aux divers modes de navigation maritime ou fluviale, soit aux divers modes de propulsion (roues à pales ou hélices).

La très grande majorité de ces machines sont à cylindres verticaux.

Voici, en quelques mots, celles qui offrent des dispositions remarquables :

A. — *Maudslag's double cylinder marine engines.*

Un appareil pour roues à pales, composé de deux machines consistant *chacune* en deux cylindres verticaux dont les pistons marchent par le même coude et la même bielle. Pour cela, les tiges des pistons sont liées aux extrémités de la barre horizontale d'un joug en forme de T, dont la branche verticale descend dans l'intervalle des deux cylindres et s'articule à son extrémité inférieure avec la bielle.

Par ce moyen, la hauteur de l'arbre des roues au dessus du fond du navire est, à *sa limite*, c'est-à-dire abstraction faite des épaisseurs et du jeu nécessaire, égale au *double de la course*.

B. — *Maudslay's direct-acting oscillating cylinder steam-engines.*

Appareil pour roues à pales composé de deux machines verticales oscillantes avec arbre supérieur. — Un condenseur unique entre les deux machines.

La hauteur limite de l'arbre des roues est réduite ici à *une fois et demie* la course.

C. — *Maudslay's double piston-rod engines for shallow river navigation.*

L'appareil se compose essentiellement de deux cylindres fixes verticaux et d'un arbre de roues placé au dessus. Pour réduire la hauteur à son minimum, chaque piston moteur a deux tiges dont les projections horizontales sont situées sur une ligne coupant à 45° environ l'axe moteur. Ces deux tiges *jumelles* se prolongent au dessus du pont, et là, au moyen d'un joug biais de forme convenable, commandent une bielle dont l'extrémité inférieure s'articule au coude de l'arbre. Le centre du couvercle ainsi débarrassé du *stuphing-box*, on peut faire passer le coude très près de ce couvercle, et par conséquent on se rapproche le plus possible de la *limite* inférieure, une fois et demie la longueur de la course, condition importante à réaliser pour un bateau de rivière assujetti à tirer peu d'eau; tandis qu'au contraire la présence au dessus du pont d'un bâti d'une hauteur égale à la longueur de la bielle n'a pour un tel bateau aucun inconvénient.

D. — *Maudslay's annular cylinder marine engines.*

Disposition ayant le même but que celle A.

Deux machines couplées pour roues à pales. Chacune d'elles consiste en un cylindre vertical annulaire, avec piston également annulaire et muni de deux tiges reliées par un joug en T, dont la partie verticale descend dans le vide du cylindre pour servir de point d'attache, aussi bas que possible, à la bielle.

Il est évident qu'on peut toujours s'arranger de manière que le *cylindre*

annulaire offre moins de surface au refroidissement extérieur que deux cylindres séparés de même capacité.

E. — *Maudslay's horizontal direct : — acting marine engines for screw-propulsion.*

Appareil composé de deux machines horizontales, à course très courte, posées par le travers du bateau et conjugées sur l'arbre d'une hélice, toutes deux à bâbord.

Le côté de tribord se trouve notablement moins chargé; aussi le constructeur accumule-t-il de préférence de ce côté l'approvisionnement de charbon.

On comprend qu'il est impossible d'étudier l'importante collection des machines à bateaux qui se trouvent à l'exposition de Londres sans que l'attention se porte tout naturellement sur l'innombrable flotte de steamers dont la Tamise est couverte. Il est à remarquer que les bateaux à vapeur les plus nouveaux, qui sont aussi les meilleurs marcheurs, sont en même temps ceux qui ont les plus petites roues. Il est question ici des roues ordinaires ou à pales.

Ce fait, qui au premier abord paraît paradoxal, puisqu'une roue d'un grand diamètre est dans de meilleures conditions qu'une petite roue relativement à l'immersion et à l'émersion de ses palettes, ce fait s'explique parfaitement quand on réfléchit qu'une roue d'un petit diamètre fait plus de tours dans un temps donné : d'où il suit qu'étant donnée une machine d'un volume et d'un poids déterminés, on pourra dépenser d'autant plus de vapeur, c'est-à-dire développer d'autant plus de puissance avec cette machine que les roues seront plus petites. De là possibilité d'une augmentation dans la vitesse du sillage, sans augmenter le poids de la machine, mais seulement celui du générateur.

Si les Américains obtiennent de grandes vitesses de marche avec des roues d'un grand diamètre, c'est que leurs cylindres ont des courses considérables, que ne comporte pas en général l'installation des steamers européens.

M. Ch. Callon rappelle que, dans les *Etudes sur la navigation à vapeur* publiées par lui et M. Ferdinand Mathias en 1845 ils ont donné la formule qui lie le diamètre des roues à *la vitesse* du piston moteur, et que le rayon moyen de la roue à palettes est proportionnel à la puissance 2/3 de la vitesse moyenne du piston, et que cette relation subsiste, soit que l'on prenne pour point de départ la théorie de Parent et de Dubuat, soit que l'on prenne celle de Borda.

UN MEMBRE donne ensuite quelques renseignements sur les expériences que M. Fournier fait en ce moment sur des voûtes en tôle. Ces expériences n'étant pas encore terminées, il en sera rendu compte dans la prochaine séance.

SÉANCE DU 19 SEPTEMBRE 1851.

Présidence de M. C. Polonceau, *vice-président*

M. C. POLONCEAU donne lecture d'une note dans laquelle il rend compte d'un appareil imaginé par M. Vallée, chef des travaux des ateliers du chemin de fer d'Orléans, et M. Lemonnier, contre-maître de l'ajustage.

Cet appareil, applicable aux machines fixes et aux machines locomotives, permet la levée immédiate des soupapes de sûreté, sans augmentation de pression dans la chaudière, aussitôt que la tension de la vapeur dépasse le chiffre fixé.

C'est un mécanisme très simple, qui a l'avantage de pouvoir s'adapter à toutes les balances à ressort existantes. Il consiste en un déclic à un point fixé d'un levier, joignant deux parties séparées de la tige de la balance. La jonction se fait au moyen de boulons formant articulation avec une barre de fer qui forme maillon et se prolonge du côté supérieur, au delà des deux points d'articulation. En abaissant ce levier, on réduit de deux fois la longueur du maillon la longueur de la tige de la balance, et, en le lâchant, cette tige revient à sa longueur primitive.

Pour faire fonctionner l'appareil, on maintient le levier abaissé en le faisant glisser entre deux tasseaux fixés sur le corps de la balance, de sorte que la soupape peut fonctionner comme à l'ordinaire tant que le levier glisse entre ses guides; et, lorsque la tension des ressorts fait dépasser au levier la position de ces mêmes guides, il s'échappe, et, la tige s'allongeant de deux fois la longueur du maillon, la soupape n'est plus chargée que par une tension beaucoup plus faible que celle qui avait lieu avant le déclic du levier.

Le mécanicien peut remettre l'appareil dans sa position normale dès que la vapeur sortie a ramené la pression dans la chaudière au chiffre réglementaire.

On voit, d'après cette indication sommaire de l'appareil, que l'on peut régler facilement et à volonté, par la position des tasseaux, la pression que le mécanicien ne peut jamais dépasser, et que, par la longueur du maillon qui unit les deux parties de la tige de la balance, on fixe la quantité dont la soupape peut se lever pour laisser échapper la vapeur, lorsque la tension dans la chaudière dépasse le maximum fixé.

Ce mécanisme, essayé sur les locomotives, a fonctionné d'une manière très satisfaisante; il donne de complètes garanties de sécurité, et peut, de plus, indiquer très facilement toutes les infractions des mécaniciens aux règlements qui leur défendent de dépasser la pression pour laquelle leurs chaudières sont timbrées.

M. POLONCEAU ajoute qu'il a essayé depuis deux mois environ un système simple, léger et peu coûteux, composé de deux lames d'acier disposées comme des ressorts de voitures, et qui donne aussi, jusqu'à présent, de très bons résultats.

DÉSINCRUSTATION DES CHAUDIÈRES DES MACHINES A VAPEUR.

M. POLONCEAU expose que, pour désincruster les chaudières des locomotives, il a successivement essayé différents produits chimiques ayant pour base des sels de soude, du sel marin, du tannnin, des décoctions de bois, et qu'il a obtenu des résultats plus ou moins satisfaisants, mais toujours incomplets, ces matières n'ayant pas, en général, d'action sur les incrustations anciennes, qui n'ont pu être atteintes jusqu'à présent que par des substances occasionnant le crachement des machines, et même attaquant les métaux. Ce crachement est un grand inconvénient, surtout dans les machines locomotives: la vapeur entraîne alors de l'eau, des matières terreuses, la dissolution saline elle-même. On est obligé de la concentrer davantage, ce qui a probablement pour effet d'augmenter la température de production de la vapeur ; de plus, les matières terreuses, dans leur passage, raient les cylindres et pénètrent dans tous les joints.

Des madriers de chêne placés dans les chaudières des machines fixes ont donné d'assez bons résultats. On les retire carbonisés après un certain temps, et le seul résidu est de la boue. Sur les locomotives, l'expérience est plus difficile, parce qu'il faut éviter que le bois désagrégé ne tombe entre les parois ou les tubes de la chaudière. Des essais sont commencés sur le chemin de fer d'Orléans ; mais ils ne sont pas encore assez complets pour que l'on puisse en tirer des conclusions.

L'emploi des mélasses de raffinerie a été aussi, dans quelques cas, assez satisfaisant. Ces matières n'attaquent pas les métaux, empêchent assez bien les incrustations, produisent moins de crachement que les autres substances; mais, quoique amollissant les anciens dépôts, elles n'agissent cependant qu'avec beaucoup de lenteur. Elles n'ont pas non plus été suffisamment expérimentées, et les résultats obtenus sont encore assez incertains.

M. DE FONTENAY a eu l'idée de chercher si les incrustations ne seraient pas quelquefois gélives, car on pourrait alors laisser geler les chaudières dont les parois seraient humides, et les ramener ensuite à la chaleur pour opérer la chute des incrustations. On a trouvé que, pour certaines eaux, les incrustations nouvelles étaient gélives, mais que les anciennes ne l'étaient pas.

M. POLONCEAU considère toutes les tentatives de réduire les dépôts dans les chaudières des locomotives comme très incomplètes ; elles ont des inconvénients graves, en supposant même une réussite parfaite du procédé.

Il pense que ce qu'il y aurait de plus convenable serait de purifier les eaux avant leur introduction dans les chaudières. Les appareils, qui devraient être de grandes dimensions, pour laisser à l'eau épurée le temps voulu pour le repos, seraient sans doute trop coûteux pour être appliqués à une machine fixe ; mais ce moyen serait très praticable pour les chemins de fer,

qui ont tous les jours une grande quantité de locomotives à alimenter.

M. POLONCEAU a fait des essais dans ce sens, d'après le procédé de M. Knab, qui s'est surtout péoccupé de débarrasser les eaux des carbonates qui formaient la base principale des dépôts. Il a réussi par l'emploi d'un lait de chaux en proportion variable suivant la qualité des carbonates contenus dans les eaux ; c'est indiquer la nécessité d'avoir recours à l'analyse.

Il a aussi précipité le carbonate de chaux, qui s'est déposé lentement, et l'eau reposée, puis évaporée à siccité, a donné une réduction de 2/3 dans le poids des dépôts qu'elle formait avant.

L'inconvénient est le temps nécessaire pour le repos ; il doit être d'une journée au moins, car, si l'eau employée contient encore du carbonate de chaux, il se dépose dans les conduits et les bouche.

Sur quelques chemins de fer, on a eu le grand tort de mettre le lait de chaux directement dans le tender ; il en est résulté qu'on introduisait dans la chaudière plus de carbonate que l'eau n'en contenait naturellement.

Pour éviter le temps de repos nécessaire au dépôt du carbonate, on a essayé le filtrage à travers des tissus ; mais leurs vides s'engorgent, ils ont bientôt cessé de fonctionner. On a essayé aussi la décantation en prenant l'eau à la surface du réservoir ; mais le dépôt n'était pas assez complet.

M. POLONCEAU compte employer trois réservoirs, dans lesquels on précipiterait le carbonate de chaux, puis prendre alternativement à chacun d'eux l'eau à la surface pour l'introduire dans les réservoirs ordinaires ; il espère obtenir ainsi une eau assez reposée, et éviter les obstructions et le crachement. Il ajoute que l'on peut activer la précipitation du dépôt par l'emploi d'un excès de chaux.

Pour se débarrasser des sulfates, on a essayé l'emploi des sels de baryte, qui n'ont que l'inconvénient de coûter trop cher. Il y aurait lieu d'examiner si les sulfates seuls, qui sont généralement en petite quantité, présentent assez d'inconvénients pour exiger cette dépense ; ou s'il serait préférable d'introduire dans la chaudière des substances analogues à celles qu'on emploie dans les machines fixes, mais alors en faible quantité.

Il indique les difficultés qu'on éprouve à nettoyer une chaudière de locomotive lorsqu'elle est incrustée ; il faut la détuber complétement, et il est presque impossible, même avec cette opération très coûteuse, de bien nettoyer à la main. Il a essayé l'emploi des acides, et il constate que les acides végétaux n'ont pas assez d'action, et que les acides minéraux attaquent les métaux.

Il insiste sur la nécessité de trouver des moyens efficaces d'éviter les incrustations qui recouvrent, quelquefois sur plusieurs centimètres, les ciels de foyer, et obstruent les chaudières de telle sorte qu'en retirant les tubes, leur place reste marquée comme dans une véritable maçonnerie : ce sont des causes permanentes de craintes et de dépenses considérables.

M. BERTHOLOMEY a remarqué que dans les raffineries, lorsque, par une cause accidentelle, il y avait introduction de sucre par les retours d'eau, on se trouvait, au bout de quelques jours de marche, dans l'obligation de changer l'eau des générateurs par suite du crachement et de la destruction des robinets : d'où il semblerait résulter que la mélasse pourrait bien n'agir qu'en raison de la grande quantité de potasse qu'elle contenait.

M. POLONCEAU répond que, pour éviter les incrustations, on en met dans les chaudières une si faible quantité qu'il n'est pas probable qu'elle agisse chimiquement, mais plutôt mécaniquement; c'est seulement la viscosité qui empêche la formation des incrustations, et, s'il y a eu tuméfaction dans le cas indiqué, c'est probablement parce qu'il en était entré une très grande quantité dans les chaudières.

M. BERTHOLOMEY ajoute qu'il a remarqué que des incrustations détachées par le carbonate de soude avaient formé des agglomérations de 4 à 5 décimètres cubes sur la plaque du foyer.

On essaie en ce moment chez M. Bayvet le procédé de M. Dam, de Bruxelles, qui consiste dans l'emploi d'un liquide bleu, alcalin, qui n'altère pas les robinets et ne produit pas de crachement. On en emploie un kil. par mois et par cheval. Les inventeurs le vendent 80 cent. le kilogramme, en demandant en outre une indemnité de 1 fr. par cheval et par an. Les anciennes incrustations sont détachées, par ce liquide, en feuilles d'environ 20 cent. de longueur; elles sont percées de trous faits comme des piqûres d'aiguilles.

MM. Bayvet s'alimentent des eaux du canal et de celles d'un puits artésien qui contiennent des sulfates et des carbonates de chaux ayant donné des incrustations de 2 à 3 centimètres.

Ils doivent continuer les essais sur un générateur neuf. M. Bertholomey tiendra la société au courant de ces expériences, et lui fera savoir quels jours seront vidées les chaudières, afin qu'elles puissent être examinées par les membres qui témoigneraient le désir de les voir.

Dans le même établissement on a employé, mais sans succès, les madriers en chêne placés dans la chaudière.

M. DE FONTENAY cite un procédé dont il a lu l'indication dans un journal industriel de M. Baleington, et qui consiste à souder dans les chaudières plusieurs feuilles de zinc dans une position verticale, de manière que les deux surfaces soient en contact avec l'eau. La surface de zinc doit être à la surface mouillée de la chaudière dans le rapport de 1 à 15, en ne comptant qu'une seule face du zinc; il se formerait alors un courant voltaïque, le zinc viendrait à se dissoudre, et les incrustations ne se formeraient pas. Ce procédé, si l'expérience venait à en constater l'efficacité, serait, dans tous les cas, d'une application difficile aux chaudières des machines locomotives, et ne pourrait probablement être employé que dans les machines fixes.

M. POLONCEAU rapporte que l'eau pure, qui est évidemment la meilleure à employer pour éviter les incrustations nouvelles, a servi quelquefois aussi à détacher les anciennes. Il cite l'exemple du chemin de fer d'Alsace, dont les eaux d'alimentation sont incrustantes sur toute une section et pures sur l'autre, de sorte que les machines mises complétement hors de service sur la première section pouvaient encore faire, et pendant long-temps, un bon service sur la seconde. La désincrustation par les eaux pures était si complète, que souvent les machines fuyaient, parce que les joints qui étaient bouchés par les dépôts n'étaient plus étanches une fois ces dépôts enlevés.

Il rappelle, à ce sujet, qu'il n'y avait rien d'étonnant à voir ces matières boucher ainsi les joints, puisque l'on sait très bien que le son, le crotin de cheval, la farine, ont été souvent employés avec avantage pour boucher les fuites de machines qu'il était impossible de réparer sur-le-champ.

M. POLONCEAU fait d'ailleurs remarquer que les eaux n'ont pas besoin d'être absolument pures pour n'être pas incrustantes. Ainsi les eaux de la Seine, quoique souvent très impures et très limoneuses, n'incrustent pas : on en a la preuve sur le chemin de fer de Paris à Versailles (rive gauche), alimenté, tant à Paris qu'à Versailles, par les eaux de la Seine, et dont les chaudières ne contiennent jamais d'incrustation.

Enfin il ajoute que, sur le chemin de Montereau à Troyes, M. Herman ayant eu, dans un cas fortuit, l'occasion d'alimenter les chaudières avec les eaux provenant d'un étang tourbeux, ces chaudières se sont trouvées désincrustées. Il faudrait peut-être faire des essais dans ce sens.

M. LANGLOIS pense que l'effet produit par l'eau des tourbières doit être attribué à la potasse qu'elles contenaient.

M. LA SALLE rapporte qu'il a employé avec succès le bois de chêne, et qu'il a ainsi empêché les nouveaux dépôts et détaché les anciens ; il ajoute que M. Cavé a essayé de faire passer l'eau sur des fagots et de la distiller, mais que ce procédé est coûteux.

M. POLONCEAU croit que les métaux décapés s'incrustent moins que ceux qui ne le sont pas.

M. BELLIER rappelle un fait d'expérience cité par M. Arson, c'est que les chaudières habituellement vidées en pression s'incrustent plus vite que les autres. On explique ce fait en remarquant que la pression doit, en effet, appliquer plus fortement le dépôt sur la surface des chaudières.

M. LA SALLE voudrait que l'on fît des bouilleurs coniques, et qu'ils fussent, à la partie la plus basse, munis d'un robinet de vidange.

M. POLONCEAU rappelle que les machines Scharp et Robert, construites en 1839 et 1840, avaient cette disposition, qui fonctionnait très bien. Elle n'a pas été reproduite depuis, et il serait bon qu'elle le fût. Ces bouilleurs coniques formeraient une espèce d'entonnoir à l'abri de l'ébullition, ce qui faciliterait beaucoup le dépôt, et l'on se servirait de la tension de la vapeur pour vider les dépôts le plus souvent possible, et même en marche, afin d'éviter le crachement.

SÉANCE DU 3 OCTOBRE 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

DRAINAGE EMPLOYÉ POUR ASSAINIR LES VOIES DES CHEMINS DE FER.

M. CALLON lit une note qui lui a été communiquée par M. Price, ingénieur du chemin de fer d'Anvers à Gand.

Dans cette note, il est dit que le point le plus élevé atteint par le chemin

de fer entre Gand et la tête de Flandre est situé entre Saint-Nicolas et les Millepommes. A peu près exactement en ce point, le profil en long est établi en déblai de $1^{m}.20$ en moyenne, et offre une pente de $0^{m}.0035$ par mètre vers Gand. La couche supérieure du terrain est sablonneuse et sèche en été; mais une couche imperméable existant à environ $0^{m}.70$ sous les rails, retient les eaux, et, dans les temps de pluie prolongée, tout le terrain supérieur s'imbibe d'eau et se transforme en boue.

Dans ces conditions, les talus s'affaissaient, et les contre-fossés disparaissaient entièrement pendant la mauvaise saison.

Pour remédier à cet inconvénient, on a placé un développement de 433 mètres de tuyaux de drainage de $0^{m}.04$ de diamètre intérieur, et 467 mètres de $0^{m}.06$. La plus grande partie a été posée dans une rigole creusée au fond d'un des contre-fossés, puis recouverte en terre; quelques tuyaux joignant les premiers ont été placés transversalement à la voie. Tout l'ensemble avait une pente d'environ $0^{m}.005$ par mètre vers un point où l'écoulement des eaux était facile.

Etablis au mois de septembre, après une assez grande sécheresse, les tuyaux ont immédiatement produit un écoulement d'eau continuel. Depuis cette époque, les talus et les contre-fossés se sont maintenus dans un état meilleur que celui des années précédentes. Cependant on a reconnu que les tuyaux de petit diamètre, posés avant que l'on connût les précautions à adopter dans les terrains de sable boulant comme ceux dont il s'agit, se sont en partie obstrués. Il suffira de les relever l'été prochain, et de les placer dans un lit de paille, ou de garnir de chaux ou d'argile les joints des manchons d'assemblage.

Les 890 mètres courants de tuyaux ont coûté, pour l'achat et le transport, 128 fr. 60 c., soit $0^{f}.1450$ par mètre: la pose a été faite sans dépense spéciale par les ouvriers chargés de l'entretien du chemin. En résumé, l'essai a bien réussi. Les tuyaux de drainage constituent un moyen nouveau fort économique, et, en certaines circonstances, extrêmement utile, de maintenir le corps de la voie dans des terrains difficiles.

On aurait pu avoir recours aux fascinages, ou bien aux perrés et aux revêtements en pierres ou en briques; mais ces divers moyens sont assez coûteux.

CONSTRUCTION DES WAGONS A MARCHANDISES.

M. POLONCEAU lit ensuite une notice de M. Debonnefoy sur l'emploi des moises dans la construction des wagons.

L'auteur du mémoire cherche à faire ressortir d'abord les inconvénients que présente le système de construction qui a été appliqué généralement jusqu'à ce jour, et qui a pour base le mode d'assemblages par tenons et mortaises, et la consolidation de la charpente par des ferrures. Les tenons et mortaises affament le bois, et déterminent la prompte pourriture des pièces par l'introduction des eaux de pluie, qui y séjournent plus long-temps qu'à l'extérieur. Les équerres sont toujours des pièces lourdes et coûteuses qui favorisent aussi l'action de l'eau, qui s'infiltre entre elles et le bois: le bois, en séchant, laisse du jeu, et dès lors le ferrement n'a plus d'action.

Enfin la disposition générale de la charpente n'a pas été étudiée jusqu'ici de manière à prévenir d'une manière satisfaisante le jeu des pièces et la dislocation de l'ensemble.

Un châssis de wagon doit réunir certaines conditions principales. Il doit d'abord ne pas se courber dans le sens de sa longueur ; la hauteur des tampons et la position des plaques de garde en dépendent ; en outre, la rigidité du rectangle qui forme le cadre du châssis doit être maintenue de telle manière qu'il ne puisse se déformer et se convertir en parallèlogramme, car les essieux ne seraient plus perpendiculaires à la voie. Enfin, le châssis doit résister verticalement, sur tous les points, à la charge qu'il supporte.

Quant aux caisses, et il est question spécialement ici de celles des wagons à bestiaux ou des wagons couverts à marchandises, elles éprouvent, par le fait même de leur grande hauteur, des efforts très puissants qui tendent à les désassembler dans toutes leurs parties.

Dans les nouvelles constructions du chemin d'Orléans, on a cherché à éviter tous ces inconvénients par l'emploi de pièces moisées.

Les brancards de châssis, composés de deux pièces qui serrent entre elles les traverses, présentent l'aspect de véritables poutres armées, qui, pour un volume égal de bois employé, ont beaucoup plus de rigidité.

Les assemblages se composent de simples entailles très faibles relativement à la grosseur des pièces, mais suffisantes pour empêcher leur déplacement ; le tout est relié par des boulons qu'on peut resserrer à volonté si les pièces prennent du jeu.

Des châssis de trucks à maringottes de plus de 7 mètres de longueur totale et présentant un porte-à-faux de $2^{m}.12$ à chaque extrémité à cause de l'écartement très réduit des essieux, construits sur ces principes, n'ont pas fléchi d'une quantité appréciable depuis plus d'une année qu'ils sont livrés au service.

Le même principe a présidé à la construction des caisses des nouveaux wagons à bestiaux : les montants sont maintenus dans leur position verticale par des pièces légères qui les moisent au milieu de leur hauteur et à leur sommet ; les parois verticales sont formées d'alaises réunies par des lames de zinc qui remplacent les languettes ; elles sont placées à l'extérieur de la charpente. Par cette disposition, l'on rend les caisses parfaitement étanches, l'on se réserve de grandes facilités pour le remplacement des planches de pourtour, qui se brisent fréquemment, et l'on abrite les assemblages.

Les nouveaux wagons ont réalisé sur les anciens une notable réduction de poids. Ainsi, pour un wagon capable de contenir 8 bœufs ou 10 vaches, présentant une capacité de moitié plus grande environ que les wagons de la Compagnie du Centre, par exemple, le poids a été réduit à 3,632 kil., tout compris, au lieu de 3,800 kil. que pèsent ces derniers.

Les wagons de même genre du chemin de Tours à Nantes eux-mêmes pèsent environ 4,200 kil.

Les résultats obtenus par l'emploi des moises ont donc une immense importance, dont on peut se convaincre en observant qu'un train de 45 wagons, par exemple, composé de wagons du Centre, et contenant ensemble 270 bœufs, pesant, poids mort, 171,000 kil., peut être remplacé par un train de 33 wagons pesant 116,688 kil. : différence 54,312 kil. Si l'on ajoute à

cette économie de traction celle qui doit résulter de la différence d'entretien de 45 wagons ou de 33, soit entretien de près d'un quart du matériel, l'on reconnaîtra l'intérêt que présente ce nouveau mode de construction.

M. DEBONNEFOY termine sa notice en disant que l'emploi des moises dans la construction des wagons remonte à l'année 1847 ; à cette époque, 25 wagons à houille furent construits au chemin de fer d'Alsace. Ces wagons, dont le poids total est de 3,500 kil., chargent 7,000 kil. de houille, et n'avaient pas de flèche appréciable en 1849.

M. POLONCEAU fait remarquer que l'emploi des moises dans la construction des parois verticales des wagons est nouveau, et que le système indiqué dans le mémoire de M. Debonnefoy mérite qu'on l'examine avec soin, parce qu'on y a surtout en vue les véritables principes suivis dans l'emploi des charpentes en général.

M. LA SALLE dit que ce système n'est pas entièrement neuf ; que, sur les chemins de Versailles et de Saint-Germain, les brancards, dans beaucoup de voitures à voyageurs, sont formés de moises.

Il pense que le système en lui-même est d'une application fort heureuse dans le matériel roulant des chemins de fer, et notamment dans la grosse charpente des châssis ; mais il craint que les caisses construites dans ce système ne soient plus lourdes que les autres, parce qu'on y emploie plus de bois.

Il rappelle que les wagons à bestiaux du chemin de Tours à Nantes pèsent, il est vrai, 4,200 kil., mais que le châssis pèse à lui seul environ 3,000 kil. Cela tient à ce que ces wagons sont munis des appareils de choc et traction les plus complets, qui représentent à eux seuls un poids de 6 à 700 kil. — Ces appareils sont les mêmes que ceux des voitures à voyageurs.

La caisse isolée ne pèse que 12 à 1,300 kil., et cependant le plancher y est formé de forts madriers en chêne, et la couverture est en zinc nº 44. Si l'on remplaçait les madriers de chêne par des madriers de sapin, si l'on substituait la toile goudronnée au zinc, et si l'on plaçait ces caisses sur des châssis simples, construits sur le principe des moises, on arriverait sans peine à réduire le poids des wagons d'une tonne.

Quant à ce qui a été dit au sujet des ferrures, il pense aussi que les ferrures offrent un mauvais moyen de consolider les assemblages.

Mais il n'est pas indispensable d'avoir recours aux moises pour obtenir une rigidité suffisante. Les assemblages à tenons et mortaises sont très solides, si l'on a soin de les maintenir au moyen de harpons. C'est le système qui a été suivi au chemin de Tours à Nantes, et l'on a vu des panneaux de caisses se briser par suite des chocs violents causés par la masse en charge, sans pour cela que les assemblages d'angle aient présenté aucun signe de faiblesse. Des croix de Saint-André, sagement ménagées et emprisonnées dans des cadres reliés par des harpons, ont toujours présenté une solidité suffisante et s'opposent très bien au déversement. Il conseillerait seulement de diminuer la longueur des tenons, afin de moins affamer les bois et de donner moins de prise à la pourriture. Des tenons reliés et maintenus par des harpons peuvent très bien être réduits aux proportions de faibles entailles, n'ayant pour but que de maintenir les pièces en place. Ce système a été pra-

tiqué au chemin d'Avignon ; il est depuis long-temps en usage dans les constructions de l'artillerie et de la marine, et tous les constructeurs de charronnage et de carrosserie le mettent journellement en pratique.

M. DEBONNEFOY fait remarquer que les wagons à marchandises périssent parce que les planchers se séparent. Au moyen de moises on consolide les caisses, tandis que, les assemblages étant faits à tenons et mortaises, ils jouent très promptement et ne présentent bientôt plus de solidité. Quant aux harpons, ils ne consolident que les parties auxquelles ils sont appliqués ; les moises tiennent tout l'ensemble d'un panneau.

M. POLONCEAU fait observer que la caisse tend à être ballottée par les marchandises, et que plus le chargement est élevé, plus grande est la force vive avec laquelle elles agissent sur les parois au moment d'un choc, d'un arrêt brusque dans la marche ou d'une mise en marche un peu rapide. Il pense que les moises ont un grand avantage, dans ce cas, pour fortifier les parois et former de bons assemblages. Les tenons, dit-il, sont des nids à pourriture. D'ailleurs, pour les former, on coupe la pièce de bois de manière à l'affaiblir ; les moises, au contraire, résistent par toute la somme de leurs fibres. Enfin, avec les tenons, il faut employer des harpons retenus par des vis ou des boulons qui pénètrent dans les montants, les affaiblissent et les préparent à une destruction plus prompte.

M. LA SALLE répond que les moises ont aussi besoin d'être entaillées pour les maintenir en place, et qu'en outre il faut les serrer par des boulons ; la section des bois est par conséquent aussi bien réduite dans ce cas que dans les assemblages à tenons et mortaises. Si les entailles sont faibles, les pièces tirent sur les boulons qui sont placés en travers, et tendent à fendre le bois, inconvénient que ne présentent pas les harpons. Au surplus, M. La Salle ne critique l'emploi des moises que dans l'application telle qu'elle a été faite aux caisses des wagons à bestiaux d'Orléans. Les assemblages périssent rarement dans le haut des caisses ; c'est surtout dans le bas qu'il serait intéressant d'améliorer la construction. Or les nouveaux wagons d'Orléans ont encore leurs montants assemblés à tenons et mortaises à leur base ; il était moins important de chercher à modifier la partie supérieure, qui doit rester au contraire la plus simple et la plus légère possible, afin que dans les chocs la masse du sommet n'ébranle ou ne disloque pas la base.

Le président, pensant que la discussion sur ce sujet est prématurée, propose le renvoi du mémoire de M. Debonnefoy à la section des chemins de fer, et revient à l'ordre du jour, qui appelle la suite de la discussion sur l'incrustation des chaudières des machines à vapeur.

INCRUSTATION DANS LES CHAUDIÈRES DES MACHINES A VAPEUR.

Un membre, M. CHAPLIN, cite les résultats suivants obtenus par le procédé de M. Dam.

Ce procédé a été appliqué en Belgique sur deux lignes de chemins de fer.

Sur le chemin de Namur à Liége, des expériences ont été faites sur des

machines déjà incrustées. Pour les désincruster, on a fait marcher la machine locomotive à petite vitesse pendant une demi-journée, en mettant 6 à 7 kil. de réactif dans le tender (les machines avaient 30 à 40 chevaux de force). La machine a beaucoup craché ; puis, quand elle est rentrée, on a rempli la chaudière d'eau, et l'on a laissé un petit feu le reste de la journée. Le lendemain, en la vidant, on a trouvé beaucoup d'incrustations qui se sont détachées d'elles-mêmes, les autres se détachant avec la plus grande facilité. Elles disparaissaient toutes d'ailleurs complétement par l'emploi constant de l'eau saturée de réactif.

La chaudière une fois nettoyée, on peut l'alimenter avec l'eau des réservoirs, qui a été préalablement saturée par une quantité de réactif qui varie suivant la nature des eaux. La saturation se fait dans les réservoirs, et le précipité qui se forme doit se déposer le plus long-temps possible. Dans le cas où la capacité des réservoirs ne permet pas de laisser déposer long-temps, il n'y aurait que peu d'inconvénients à introduire le liquide trouble dans la chaudière ; seulement, une certaine quantité du précipité tendant toujours à s'agglomérer dans le fond du réservoir, ne fût-ce qu'au bout d'une demi-heure, il convient de prendre l'eau le plus près possible de la surface au moyen d'une tubulure à hauteur convenable.

Dans ces expériences, les eaux étaient très dures. Les essais se faisaient sur cinq locomotives, dont trois fonctionnaient chaque jour. La distance à parcourir était de 63 kilomètres, et le trajet se faisait neuf fois par jour. Le parcours total était fourni en 51 heures, dont 17 heures de marche et 34 heures de repos avec feu allumé. La consommation d'eau était d'environ 653 litres par machine et par heure, y compris les eaux perdues et soufflées par les machines. La consommation en réactif pendant 30 jours a été de 726 kilog., y compris la quantité qui a servi à la désincrustation préalable des cinq machines.

Sur la ligne de Bruxelles à Quiévrain et de Bruxelles à Namur, l'essai a été fait d'abord sur une locomotive fort incrustée. La première fois qu'elle a été vidangée, on a rempli un panier à coke d'incrustations et de quelques boues ; la seconde fois, deux paniers à coke ont été remplis par les incrustations et beaucoup de boues ; la troisième fois, on a retiré seulement un 1/2 litre d'incrustations et quelques boues blanches provenant des calcaires qui avaient été entraînés du réservoir. Les tubes étaient lisses et nets, et les quelques incrustations qui restaient encore sur les tirants et sur quelques parties du fer pouvaient être enlevées à la main. De plus, le réactif n'a paru exercer aucune action nuisible sur les métaux.

Cette expérience a été faite sur deux machines, et la consommation moyenne du réactif, tant pour opérer la désincrustation des deux machines que pour prévenir de nouvelles incrustations, a été de $2^k.5$ par jour et par machine.

UN MEMBRE demande à connaître la composition de ce réactif.

On lui répond qu'il ne peut en être donné connaissance qu'à la commission nommée pour examiner ces questions.

UN AUTRE MEMBRE donne les résultats qu'il a obtenus en 1846 contre l'incrustation des chaudières des machines fixes à l'usine de Saint-Léonard (Vieille-Montagne), à Liége.

Il a employé un mélange composé de :

Fécule.	3 kil.
Gomme arabique. . .	1
Sucre candi.	1
Sel de soude. . . .	1
Total.	6 kil.

pour une chaudière d'une capacité de 10 mètres environ.

Cette composition, bien broyée, est introduite dans la chaudière, et se renouvelle tous les deux mois ; elle produit un précipité gris sale, qui s'échappe à chaque vidange. On n'a jamais remarqué de traces d'incrustation. Bien que la soude soit sans doute l'agent principal du précipité, il faut toutefois faire observer que la suppression de la gomme arabique, qui a été essayée deux fois, a déterminé sur les parois de la chaudière une croûte très légère, qui a disparu aussitôt qu'on y est revenu.

Les eaux qui alimentent les machines des bords de la Meuse proviennent de puits percés dans le gravier, et qui généralement sont assez pures.

Depuis, l'usage en a été continué, ainsi que dans diverses autres usines auxquelles on l'avait indiqué, et l'on s'en trouve bien.

M. POLONCEAU fait remarquer qu'il est nécessaire d'indiquer la nature des eaux sur lesquelles on opère, pour qu'on puisse se rendre compte des résultats obtenus.

UN MEMBRE fait remarquer qu'on n'a pas tiré tout le parti qu'on devait attendre de l'emploi de la chaux comme réactif. Il pense que cette matière, bien utilisée et mélangée convenablement dans les réservoirs *ad hoc*, doit donner des résultats très satisfaisants dans la plupart des cas pour les eaux employées dans les machines locomotives. Il faudrait aussi, avant d'introduire le lait de chaux, chauffer l'eau dans les réservoirs, et le précipité se ferait bien plus rapidement : car il ne faut pas oublier que le temps de repos nécessaire pour précipiter le dépôt est la plus grande objection qui ait été faite contre l'emploi de la chaux, parce qu'il nécessite la construction de réservoirs plus nombreux que ne l'exige le service ordinaire.

M. POLONCEAU fait remarquer que, pour les machines locomotives, il faut absolument purifier les eaux avant de les introduire dans la chaudière, et par conséquent dans le réservoir, tandis qu'il n'en est pas de même pour les machines fixes, dans lesquelles on peut très bien opérer la purification des eaux. Il est même plus avantageux d'opérer ainsi qu'avant l'introduction de l'eau dans les chaudières.

Il s'ensuit que, pour résoudre la question, il faut suivre deux marches bien distinctes, selon que l'on voudra purifier les eaux pour des machines locomotives ou pour des machines fixes.

SÉANCE DU 17 OCTOBRE 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

Exposition universelle de Londres.

M. CH. CALLON donne de nouveaux détails sur l'exposition de Londres; il dit que la plupart des machines exposées dans le quartier anglais révèlent une tendance marquée à imiter les modèles français des petites machines à vapeur fixes, à haute pression, sans condensation, légères et peu coûteuses, aujourd'hui si répandues, principalement dans les ateliers de l'industrie parisienne, et dont notre exposition de 1849 renfermait un si grand nombre de spécimens.

Il en conclut que l'on tend à abandonner, aussi bien pour les machines fixes que pour les machines de bateaux, les anciens modèles anglais.

M. CH. CALLON signale, en passant, le système d'embrayage et de débrayage à cliquet pour la jonction de deux moteurs inventé par M. Pouyer-Quertier (de Rouen), et dont l'exposition offre deux modèles. Ce mécanisme ingénieux, mais nécessairement compliqué, se trouve décrit dans le n° 108 du Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. Etabli aujourd'hui dans plusieurs usines de Normandie et d'Alsace, il pare aux inconvénients trop connus des divers modes d'embrayage par manchons d'accouplement, et repose sur le principe suivant :

« Etablir la liaison entre les deux moteurs par une roue à rochets fixée à » demeure sur l'arbre du moteur principal, en faisant agir sur les dents de » ce rochet les cliquets d'un disque tournant librement sur cet arbre, mais » lié invariablement au moteur supplémentaire ; faire soulever ces cliquets » par le fait même du ralentissement du moteur supplémentaire par rapport » au moteur principal ; le faire réengrener sans choc aussitôt que la vitesse » du moteur auxiliaire, déchargé pendant quelques instants, se rétablit égale » ou supérieure à celle du moteur principal. »

Moteurs hydrauliques.

A l'exception de deux modèles à l'échelle de 1/12e de grandes roues à augets destinées à l'épuisement des mines de la grande Compagnie du Devonshire, et exposées par M. Nathaniel Smith, ingénieur de cette Compagnie, rien de ce genre n'attire l'attention.

Ces deux roues, de $12^{m}.20$ de diamètre sur $3^{m}.66$ de largeur, sont an-

noncées être d'une force de 140 chevaux chacune. Par l'intermédiaire de tirants en fer rond de $0^m.082$, soutenus de distance en distance sur des poulies à gorges, et dirigés suivant une rampe de 700 mètres de longueur sur 117 de hauteur, l'une de ces puissantes roues agit sur un système de pompes qui élèvent l'eau de 210 mètres de profondeur, avec une vitesse de quatre coups et demi par minute.

L'autre roue élève l'eau de 146 mètres de profondeur par l'intermédiaire d'une ligne de tirant de 950 mètres de longueur.

Il faudrait connaître la disposition des localités, c'est-à-dire la situation des biefs qui alimentent ces roues et celles des puits qu'elles desservent, pour se prononcer sur la question de savoir si ce système, parfaitement bien établi sans doute, mais compliqué, sujet à un grand entretien, et dont les frottements absorbent une puissance considérable, était bien celui qu'il fallait choisir de préférence à tout autre.

Toutefois, la pensée se reporte presque involontairement sur la ressemblance frappante qu'il présente avec les anciennes machines d'épuisement, si souvent décrites, des mines d'Hinlgeat, en Bretagne, que la machine à colonne d'eau de M. Juncker a supplantées avec une si grande économie et de force motrice et d'entretien annuel ; et l'on ne peut s'empêcher de douter que l'appareil exposé par la Compagnie du Devonshire soit réellement ce qu'il y a de mieux à faire dans l'espèce.

Turbines.

Les galeries anglaises renferment aussi une petite turbine (de M. Erskane), à un seul orifice injecteur ou adducteur, qui ressemble assez à celle que M. Canson, d'Annonay, avait exposée en 1849 ; mais l'une et l'autre ne peuvent pas être noyées et ne sont propres qu'à l'utilisation de petits cours d'eau sous de hautes chutes. L'attention ne saurait donc s'arrêter utilement sur cette machine.

En fait de turbines hydrauliques, il n'y en avait qu'une seule de vraiment remarquable : c'est celle qu'avaient exposée MM. Fromont et fils, successeurs de M. Fontaine (de Chartres), dont les machines avaient déjà figuré aux deux expositions de 1844 et 1849. Cette turbine, d'une belle exécution, qui a valu à MM. Fromont une médaille de première classe, est dite *turbine double*. Cette dénomination exige, pour être comprise, quelques explications.

Si l'on consulte les expériences faites jusque dans ces derniers temps, on remarque que toutes les turbines éprouvent, quoiqu'à un degré différent, un inconvénient capital, savoir, l'amoindrissement du rendement au fur et à mesure que la machine dépense un volume d'eau de plus en plus faible, en sorte que ce rendement se trouve de plus en plus appauvri dans la saison des sécheresses, c'est-à-dire précisément dans la saison où il importerait qu'il se maintînt au plus haut taux possible.

Ainsi, pour ne citer qu'un seul exemple, il résulte des expériences faites dans le temps par M. Morin que le rendement de la turbine de Mullbach, qui s'élevait à 79 0/0 lorsque la vanne circulaire était ouverte de $0^m.27$, se

réduisait à 37,0/0 quand la levée de vanne n'était plus que de $0^m.05$, soit les $0^m.185$ de l'ouverture primitive.

M. Fourneyron a essayé de parer à cet inconvénient en divisant la hauteur de sa turbine en deux ou plusieurs compartiments. M. Kœcklin, dans la vue de parvenir au même but, a établi quelquefois sur la même chute deux ou trois turbines de grandeurs différentes, attelées en quelque sorte sur le même arbre de transmission, mais disposées de manière à pouvoir marcher ensemble ou séparément, suivant le plus ou moins d'abondance des eaux.

M. Fontaine, enfin, a imaginé sa *turbine double*, composée de deux turbines concentriques venues de fonte d'un seul jet, et pouvant, au moyen d'un vannage convenablement disposé, recevoir l'eau, soit ensemble, soit séparément.

Mais, il faut bien le dire, ces divers dispositifs ou artifices, même celui couronné par le jury international, ne sont que des palliatifs fort incomplets, surtout quand les turbines sont noyées. C'est ce que M. Callon espère prouver prochainement à la Société par le compte-rendu des expériences qu'il vient de faire sur une nouvelle turbine imaginée par M. Girard, membre de la Société, et qui ont prouvé la possibilité, niée jusqu'à ce jour, d'obtenir d'une turbine, même noyée, un rendement constant de 70 à 75 0/0 pour des volumes d'eau variables dans le rapport de 1 à 7.

Pompes rotatives.

Une inspection, probablement trop rapide, ne nous a rien révélé de remarquable à l'égard des pompes à piston ordinaires ; mais notre attention a été attirée par plusieurs pompes rotatives établies sur le principe de l'application de la force centrifuge à l'élévation des eaux, et installées avec un certain art.

Ces appareils, quoique exposés par différents constructeurs, sont tous en quelque sorte de la même famille, et n'impliquent qu'une seule et même description. En effet, il importe assez peu que l'axe de rotation soit vertical ou horizontal, que les aubes soient en plus ou moins grand nombre et d'une courbure plus ou moins bien étudiée. Ce qu'il importe de constater, c'est que ces appareils sont tout simplement des turbines à réaction et sans adducteurs (c'est-à-dire la pire espèce de turbines), retournées en quelque sorte pour transformer le compteur hydraulique en une *machine élévatoire*.

Si l'on considère, en second lieu, que la vitesse à appliquer à l'axe de rotation augmente de plus en plus avec la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée, que les frottements augmentent comme le carré de cette vitesse, et qu'enfin ils augmentent aussi à mesure que l'appareil prend des proportions de plus en plus petites, on sera amené à conclure que ces machines, même établies avec soin et intelligence, devront être réservées pour élever de grandes masses d'eau à de petites hauteurs.

Telle est en effet la conclusion à laquelle nous avaient conduit, en 1846, quelques expériences que nous avions été chargé de faire sur une pompe à force centrifuge analogue à celle de l'exposition anglaise, et construite par M. Dumoulin, breveté pour cette machine, qu'il nommait tromboïde.

Tuyaux de distribution d'eau du Palais de Cristal.

Ces tuyaux étaient munis de robinets que nous croyons nouveaux, et qui sont brevetés, en Angleterre, au nom de Jennings.

Imaginez sur une conduite ordinaire une coupure ou un intervalle dont la longueur dépend du diamètre de cette conduite ; supposez cet intervalle occupé par un manchon en caoutchouc vulcanisé, serré par un fil de fer sur les deux parties de tuyaux en regard ; supposez enfin ce manchon recouvert sur sa longueur par un autre manchon en métal, portant en son milieu une tubulure à vis, perpendiculaire à l'axe de la conduite, dans laquelle pénètre une vis de pression terminée par une demi-sphère d'un rayon égal à celui de la conduite. Cela posé, lorsqu'on veut laisser passer l'eau librement, on rentre dans son logement, ou tubulure, la vis de pression ; lorsqu'on veut intercepter l'eau au contraire, fermer le robinet, on fait pénétrer la vis de pression, qui, appuyant par sa partie sphérique sur la face extérieure du manchon en caoutchouc vulcanisé, fait céder ce manchon et l'amène jusque contre la paroi opposée, où elle produit une occlusion complète. Nous ignorons jusqu'à quelle pression cette fermeture pourrait résister ; mais à Hyde-Park, du moins, elle a parfaitement réussi.

Presses hydrauliques.

La grande presse hydraulique exposée par la *Bank quay Foundry Company*, de Warington, est une des pièces capitales de l'exposition. Elle peut élever un poids de 1,200 tonnes. C'est elle qui a servi, comme on le sait, au levage des tubes du *Britannia-Bridge*.

Les autres presses hydrauliques exposées, du moins celles que nous avons aperçues, ne renferment rien de nouveau, ni même de remarquable ; mais, comme application intelligente et bonne installation de l'appareil, on doit citer la presse double employée pour l'épreuve des fermes en fonte du Palais de Cristal.

M. LE PRÉSIDENT invite ensuite M. Girard à donner quelques détails à la Société sur le principe et les propriétés de sa nouvelle turbine, dont les résultats d'expériences ont été promis par M. Callon.

M. GIRARD expose la différence radicale qui existe entre une turbine marchant *à réaction* et une turbine marchant par *libre déviation* de la veine. Il rappelle qu'Euler avait donné à sa turbine à réaction une hauteur précisément égale à la moitié de la hauteur de la chute et une vitesse relative nulle ; il annulait complétement une cause de déperdition de force qui existe dans les turbines modernes à réaction, savoir, le jaillissement de l'eau par le jeu existant entre la couronne fixe et la couronne mobile. Ce jaillissement est produit par l'excès de pression de l'eau qui remplit la roue sur la pression extérieure ; et cet excès de pression, à son tour, provient de ce que la hauteur de la turbine est toujours bien inférieur à la demi-hauteur de la chute.

Le principe de la libre déviation de la veine dans les canaux mobiles ou

récepteurs satisfait d'une manière générale à la condition qu'Euler n'avait remplie que pour un cas particulier de la turbine à réaction. Mais, pour pouvoir l'appliquer dans la pratique, non seulement lorsque la turbine marche dénoyée (ce qui n'arrive que lorsqu'on dispose, dans le cas de la turbine Fontaine, d'une chute à niveau invariable, ou bien, dans le cas de la turbine Fourneyron, d'une chute déterminée par la hauteur de la turbine), mais encore dans les circonstances bien plus fréquentes où la turbine est immergée, il fallait imaginer un moyen de faire tourner la turbine *sous l'eau sans être noyée*. C'est ce moyen, qui rappelle le procédé de la cloche à plongeur, que M. Girard a trouvé, et qui lui a fait donner à sa turbine le nom de turbine hydropneumatique.

Cette turbine possède encore une autre propriété, c'est celle de donner l'eau par des *vannes partielles* qui se lèvent toujours de toute leur hauteur, en nombre proportionné à la masse de l'eau actuellement disponible.

Cette idée, qui avait été brevetée en 1840 au nom de M. C. Callon, n'était aussi applicable que dans les cas, assez rares dans la pratique, comme nous l'avons déjà dit, d'une chute très élevée ou d'une chute à niveau invariable. L'hydropneumatisation imaginée par M. Girard rend la turbine à vannes partielles applicable à toutes les chutes, avec les avantages d'un *rendement constant* pour des variations de volume qui font baisser de moitié le rendement des turbines ordinaires.

M. GIRARD ajoute qu'il a imaginé un mécanisme très commode pour lever promptement et d'un point quelconque de l'usine les vannes de la turbine en tel nombre que nécessite la masse d'eau disponible.

Il termine son exposé en annonçant qu'il communiquera à la Société, dans une des prochaines séances, les plans et la description de sa turbine *hydropneumatique* avec vannage par soulèvements successifs, le tableau des expériences faites sur cette turbine, et enfin plusieurs projets de *barrages mobiles*, fondés également sur le principe très fécond de l'hydropneumatisation.

M. FAURE rend compte de celles des machines à moissonner qui, admises à l'exposition de Londres, lui ont semblé devoir être adoptées par la pratique.

Ces machines sont au nombre de deux, et toutes deux d'origine américaine.

La plus remarquable, celle qui à juste titre a obtenu la grande médaille, a été inventée par M. M'Cormich.

Elle se compose d'une sorte de traîneau conduit par une seule roue de $0^m.60$ environ de diamètre et $0^m.30$ de largeur de jante. Cette roue est supportée par un châssis, relié latéralement au traîneau, et muni à l'avant d'une flèche à laquelle viennent s'articuler des palonniers à la manière ordinaire.

L'appareil est traîné par un, deux ou trois chevaux, et le service se fait par un seul homme et deux enfants.

La face antérieure du traîneau, sur une largeur de $1^m.50$, est armée de dents parallèles en fer de lance formant peigne, et qui, à mesure que le traîneau s'avance, emprisonnent entre elles les épis.

Une scie rigide à dentelure fine et serrée, animée d'un mouvement recti-

ligne alternatif et agissant en dessous du peigne à la racine des dents, vient couper ces épis.

Enfin un rabatteur, composé de quatre voliges ou planches légères placées obliquement comme dans un dévidoir, est maintenu au dessus du traîneau, dont il embrasse toute la largeur. Ce rabatteur, animé d'un mouvement de rotation, courbe sur le plancher du traîneau les épis qui viennent d'être sciés; un enfant les ramasse, les dépose sur le sol, et le gerbage se fait à la manière ordinaire.

Le second enfant dirige les chevaux, et l'homme, veillant à la machine elle-même, régularise la position des épis s'ils sont couchés, et imprime à la fois le mouvement rectiligne alternatif à la scie et le mouvement rotatoire au rabatteur.

Un inconvénient du rabatteur est de faire échapper des grains de l'épi par un mouvement trop brusque, lorsque sa vitesse n'est pas parfaitement réglée; mais on y remédie en adaptant au traîneau une toile pour recevoir les grains.

La moisson se fait en commençant par la lisière du champ, et se continue ensuite par tranches parallèles de la largeur du traîneau.

La paille peut être coupée très pres de terre et jusqu'à $0^{m}.08$ ou même $0^{m}.05$ de sa surface.

Avec un traîneau de $1^{m}.50$ de largeur, deux chevaux, un homme et deux enfants, on peut moissonner par heure 2 acres ou 80 ares de terrain.

Une telle machine est cotée au prix de 700 fr., mais il est probable que son prix de revient ne dépasse pas 450 à 500 fr. Outre l'économie considérable qu'elle procure dans l'opération de la moisson, elle présente encore l'immense avantage de moissonner précisément en temps opportun, ce qu'il n'est pas toujours possible de faire lorsque la moisson s'effectue, comme cela a lieu le plus ordinairement, par des populations entières qui se déplacent quelquefois très loin de leurs habitations et arrivent à époques fixes.

Une seconde machine à moissonner, exposée par MM. Garett et fils, se compose, comme la précédente, d'un traîneau, d'une série de dents et d'une scie; mais la dentelure de cette dernière, au lieu d'être fine et serrée, est formée de dents triangulaires juxtaposées qui coupent par leur portion inclinée.

Cette scie paraît devoir être inférieure à celle de M'Cormich, et surtout lorsque les épis ne sont pas encore très mûrs, et lorsque le matin ils sont encore couverts de rosée.

La machine Garett ne peut-elle pas rester en outre impuissante lorsque le blé est versé, tandis qu'avec quelques précautions, celle de M'Cormich doit pouvoir toujours fonctionner?

L'idée des machines à moissonner n'est pas nouvelle; on en a déjà imaginé 7 ou 8 espèces, fondées sur le mouvement rotatoire ou alternatif d'une lame de faux, soit sur le principe des tondeuses héliçoïdales; mais aucune ne pouvait, comme celles dont il est question ici, fonctionner d'une manière satisfaisante dans les champs labourés en ados, ce qui est précisément le mode le plus usité pour le labourage des champs de blé dans les terres fortes et argileuses.

SÉANCE DU 7 NOVEMBRE 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

M. le président annonce que M. le Ministre de l'agriculture et du commerce a bien voulu faire remettre à la Société quelques uns des ouvrages dont peut disposer son département, comme témoignage de sympathie et de tout l'intérêt qu'il lui porte.

EXPOSITION DE LONDRES.

Chemins de fer.

M. BRIDEL communique à la Société de nouveaux renseignements sur l'exposition de Londres. Il classe de la manière suivante les appareils pour chemins de fer exposés au Palais de Cristal :

Voie.
Appareils pour mouvements de gare.
Matériel roulant.
Locomotives.

Voie.

On paraît s'être beaucoup occupé, en Angleterre, de perfectionner le mode d'établissement de la voie de fer.

On remarque les trois tendances suivantes dans les systèmes exposés :

1° Consolidation des joints des rails ;

2° Substitution du fer et de la fonte au bois employé dans la construction des supports ;

3° Augmentation de la surface par laquelle les rails reposent sur ces supports.

MM. Richardson, Robert, suppriment les traverses et coussinets de joint; ils établissent une traverse intermédiaire à 0m.30 ou 0m.40 des extrémités de chaque rail ; puis ils assemblent ces rails au moyen de deux platines en fer de 0m.45 de long sur 0m.08 de large, logées des deux côtés de la partie droite, et réunies entre elles et avec le rail au moyen de quatre boulons. La forme de ces plates-bandes est telle, qu'elles s'appliquent exactement contre les faces des champignons qui avoisinent la tige. Il est probable que les trous percés dans les rails sont ovalisés afin de permettre la dilatation.

Les inventeurs assurent que leur système, appliqué par M. Adams au

chemin des Eastern-Counties, a donné d'excellents résultats, et a permis de remettre en service des rails complétement usés aux points où ils portaient sur les coussinets de joint.

MM. Samuel James ont exposé des coussinets de joint qu'ils proposent de substituer à ceux actuellement existants sans enlever les traverses. Ils suppriment la joue intérieure, comme cela se fait pour les changements de voie. La joue extérieure est prolongée des deux côtés de manière à remplacer l'une des platines du système précédent. Ils conservent la platine intérieure en fer et les quatre boulons de l'assemblage ; mais il est à craindre que les deux longues oreilles de la joue extérieure ne soient très sujettes à se rompre.

On a également proposé de faire venir ensemble à la fonte un coussinet de joint et deux coussinets intermédiaires, reliés par deux entretoises. Les coussinets intermédiaires seuls sont fixés sur des traverses, écartées de $0^m.70$ à $0^m.80$; le coussinet de joint est ainsi suspendu. Ces appareils, pour être assez résistants, doivent être fort lourds ; ils sont du reste difficiles à fondre, parce que les trois joues intérieures doivent s'appliquer bien exactement contre les rails.

D'autres supports de joint sont composés, pour chaque file de rails, d'un plateau de fonte avec nervures en dessous, et portant en dessus, sur toute sa longueur, qui est de 1 mètre environ, une joue extérieure continue. A l'intérieur, la joue est remplacée par une platine en fer ; le tout est assemblé au moyen de quatre boulons qui traversent la joue, les rails et la platine. Les supports des deux files de rails sont reliés par une tringle en fer.

Quelques uns de ces plateaux sont composés de deux parties symétriques qui embrassent exactement les rails. Les joues ne sont plus continues, mais forment deux coussinets intermédiaires écartés d'environ 1 mètre et un large coussinet de joint placé au milieu.

Ce dernier système doit être difficile à bien exécuter, parce qu'il faut obtenir à la fonderie une grande précision pour le logement des rails.

Tous deux sont du reste fort lourds.

Greaves, de Manchester, a exposé des traverses en fer et fonte fort remarquables.

Les coussinets, à peu près pareils à ceux qui sont employés sur nos chemins de fer, sont venus de fonte ou boulonnés au sommet d'une calotte sphérique en fonte d'environ $0^m.40$ de diamètre à sa base. A l'intérieur de la voie, ces calottes portent une nervure dans laquelle vient se loger l'extrémité d'une forte traverse en fer méplat, posée de champ. L'assemblage se fait au moyen de boulons. La construction a obtenu ainsi une grande résistance au dévers.

Enfin il signale une traverse en tôle, coudée en forme de gouttière à section trapézoïdale.

Les coussinets sont fixés sur ces traverses au moyen de boulons. En France, le poids d'un de ces appareils serait d'environ 40 kilog., en supposant que la tôle déployée ait $2^m.50$ sur $0^m.40$ et $0^m.05$ d'épaisseur.

Dans les systèmes dont il vient d'être question, on a fait remarquer une tendance à allonger les supports des joints. Ceux qui vont être décrits se rapprochent plutôt des voies posées sur longrines que de celles posées sur traverses.

MM. Samuel, James, ont exposé un deuxième mode de construction de la voie.

Leurs rails sont pris entre deux pièces de bois longitudinales, évidées de manière à embrasser ces rails jusqu'à 0m.04 ou 0m.05 de la surface de roulement du champignon supérieur. Ces pièces de bois sont logées dans une sorte de gouttière en fonte, de 0m.08 de largeur au fond, 0m.10 à la partie supérieure, 0m.11 de profondeur et environ 1 mètre de longueur, percée de trous au fond en plusieurs points pour l'écoulement des eaux. Deux nervures horizontales règnent extérieurement aux deux rebords supérieurs de la gouttière, de sorte que le tout a environ 0m.40 de large. D'autres nervures transversales placées en dessus consolident le tout. Enfin les supports des deux files de rails sont réunis par une petite tringle en fer dont les extrémités se logent dans des cavités venues de fonte sous les plateaux, et sont boulonnés dans ces cavités. Il y a trois supports semblables par rail de 4m.50; les joints sont consolidés au moyen de platines, comme dans le système Richardson.

Le but de MM. Samuel, James, est de supporter les rails sur une grande partie de leur longueur, d'éviter l'emploi du bois pour toute partie coûteuse à remplacer, sans toutefois le supprimer complétement, parce que, dans leur opinion, l'interposition d'un corps compressible entre les rails et le ballast est nécessaire.

La forme évasée qu'ils ont donnée à leurs gouttières a pour but de serrer très fortement la garniture en bois contre le rail; mais il est à craindre que, dans le cas d'un tassement inégal sous les supports d'un même rail, les supports se détachent. La tringle en fer s'oppose bien à l'écartement des rails, mais son efficacité pour empêcher le dévers est douteuse. Enfin le poids de la fonte par mètre courant de voie simple ne serait pas moindre de 160 kil.

Hoby a modifié d'une manière assez heureuse les supports que nous venons de décrire. La gouttière a une section analogue à celle de nos coussinets; le rail y est fixé au moyen de deux coins doubles placés à chaque extrémité, à l'extérieur du rail. Les deux joues latérales sont recourbées de telle façon que leur arêtes extrêmes se trouvent dans un plan horizontal inférieur au fond de la gouttière. L'une des nervures transversales est prolongée en dessous; elle est percée d'une mortaise, dans laquelle s'engage une barre de fer méplat placée de champ et reliant les supports des deux files de rails. Il chasse un coin en fer entre le fond de la mortaise et cette barre, de sorte que celle-ci se trouve appliquée contre les deux rebords et empêche tout dévers.

La voie proposée par M. W. K. Barlow pour le Great-Western est presque entièrement en fer. Elle se compose essentiellement d'un grand rail Brunel de 0m.15 de haut et 0m.35 d'empattement, posé directement sur le ballast.

Aux joints, les deux abouts des rails sont fixés, chacun au moyen de quatre boulons, sur un plateau en fer ou plus souvent en fonte de 0m.35 de large sur 0m.50 environ de long. Les plateaux en fonte ont de fortes nervures en dessous. L'écartement transversal des rails est maintenu par une barre de fer méplat d'environ 0m,08 sur 0m,015, boulonnée de champ contre l'une des nervures du plateau.

Le rail de M. Barlow repose sur le ballast par une large base de $0^m.35$ pour un mètre courant ; mais il présente latéralement une surface de $0^{mq}.10$ seulement pour résister aux actions qui tendent à déplacer la voie dans le sens transversal. Son poids est de 61 kil. pour un mètre courant ; mais il est, au dire de l'inventeur, trois fois plus fort que le rail à double champignon ordinaire. Il a très bien réussi sur le North Middland-Railway.

Si l'on parvenait à fabriquer des rails de cette espèce au même prix que les rails ordinaires, il suffirait d'en réduire le poids à 54 kil. pour que le prix d'établissement de la voie en France fût le même qu'avec le système ordinaire.

APPAREILS POUR LES GARES.

Plaques tournantes.

Des deux plaques tournantes exposées une seule mérite d'être citée.

C'est une plaque à plateau mobile en fer portant sur des galets fixes. Ce plateau mobile se compose d'un disque en tôle d'environ $0^m.008$ d'épaisseur, lequel porte la voie unique formée de deux rails Brunel, fixés au moyen de rivets. Un cercle de roulement en fonte est rivé sous ce disque, qui est en outre consolidé par trois nervures en fer à T perpendiculaires aux rails et par une traverse en fonte qui porte le pivot. Les galets sont fixes, disposition qui présente ici peu d'inconvénients, parce que l'on peut faire porter tout le poids de la plaque sur le pivot.

On remaque en outre un dessin et un modèle de plaque tournante pour machine et tender, basée sur un principe entièrement nouveau, et qui mérite quelque attention.

Cet appareil se compose d'une grande caisse cylindrique en tôle (de 11 mètres de diamètre) supportée en son milieu par un pivot. Cette caisse, convenablement consolidée par des cloisons intérieures, supporte la voie; elle est logée dans une cuve en maçonnerie étanche remplie d'eau. L'assise qui forme le couronnement de la cuve est en retraite ; une plaque de fonte recouvre le vide annulaire ainsi obtenu. Enfin la petite languette de la deuxième assise supporte un chemin de fer circulaire. Douze galets, dont les axes tournent dans des supports fixés à la caisse flottante, font saillie sur le pourtour de cette caisse, et sont engagés dans la rainure circulaire formée par le couronnement en fonte. Le diamètre de ces galets est un peu moindre que la distance du couronnement au chemin de fer circulaire.

Quand la plaque n'est pas chargée, la pression de l'eau la soulève jusqu'à ce que les galets s'appuient contre le couronnement en fonte, qui sert ainsi de cercle de roulement.

Quand, au contraire, on amène une machine sur la plaque, la pression de l'eau est insuffisante pour la soulever, et les galets portent sur le cercle de roulement inférieur.

Chariots de service.

Les chariots de service en usage sur la plupart des chemins de fer ne peu-

vent desservir les voies principales, parce que leur établissement forcerait à interrompre ces voies.

Le chariot hydraulique du Great-Western et celui du chemin de Lyon ne participent pas à cet inconvénient, mais ils sont coûteux d'établissement et d'entretien.

Dunn, de Manchester, a exposé l'appareil fort simple et fort ingénienx que nous allons décrire.

La voie transversale sur laquelle roule le chariot se compose de six files de rails plats, à deux rebords seulement, dont le fond est établi au niveau des voies principales. Ces rails sont interrompus au droit de chacune de ces voies sur une longueur suffisante pour ne pas gêner le passage des roues de voiture.

Le chariot proprement dit se compose d'un cadre en tôle porté par douze galets à jante plate, qui roulent dans les rails à ornière de la voie transversale. Ces galets sont disposés sur quatre rangées, de telle sorte que l'une des rangées se trouvant au dessus des interruptions de la voie, les trois autres portent sur cette voie. Les deux longs côtés du cadre sont parallèles aux rails des voies principales ; ils portent à leur partie inférieure et sur toute leur longueur une sorte de cornière sur laquelle repose le rail du chariot. La face supérieure de ce rail se trouve ainsi élevée de $0^m.05$ seulement au dessus de la voie. Afin de racheter cette légère différence de niveau, quatre plans inclinés de $1^m,20$ de longueur environ viennent raccorder les abouts des rails du chariot avec ceux de la voie. Ces plans inclinés sont mobiles autour des charnières verticales fixées contre les petits côtés du cadre, de sorte que l'on peut à volonté les appliquer contre ces petits côtés ou les amener dans le prolongement des rails.

Les joints des charnières, au lieu d'être plans, sont héliçoïdaux ; il en résulte que les plans inclinés, repliés contre les petits côtés du cadre, sont assez élevés pour ne plus rencontrer les rails. Pour faire monter une voiture sur le chariot ou pour la faire descendre de ce chariot, on déploie les plans inclinés ; on les replie quand on veut rouler le chariot d'une voie au droit d'une autre voie.

Le chariot exposé par Ormerod, de Manchester, ressemble beaucoup à celui que nous venons de décrire. La voie transversale se compose de trois files de rails. Le chariot est supporté par six galets inégalement espacés, afin d'éviter les chocs au passage des interruptions que présente la voie transversale.

Le chariot se compose d'un premier châssis en tôle formé de deux longueurs et de six traverses groupées deux à deux de manière à reposer sur les axes des galets.

Un second châssis entoure le premier ; ses longerons portent des rails semblables à ceux de Dunn. Ces longerons sont reliés près de leurs extrémités par deux traverses en tôles, en quatre autres points de leur longueur, par des entretoises en fer rond.

Les deux entretoises du milieu ne sont écartées que de $0^m.70$ environ ; elles portent dans des étriers fixés sous les longerons du châssis intérieur. La voie du chariot se trouve ainsi suspendue à $0^m.05$ environ au dessus des rails principaux ; un faible effort suffit pour la faire osciller autour de l'une ou l'autre entretoise.

Quand le châssis est horizonral, le chariot roule sur la voie sans rencontrer d'obstacles; quand il est incliné, les rails viennent se raccorder avec ceux des voies principales, et forment ainsi un plan incliné sur lequel on fait monter les voitures avec la plus grande facilité. Le mécanisme au moyen duquel on élève ou l'on baisse le châssis extérieur se compose de coins qu'on manœuvre au moyen de leviers.

Le chariot d'Ormerod paraît convenir aux lignes dont le matériel est lourd.

M. Colladon, ancien professeur à l'Ecole centrale des arts et manufactures, invité à assister à la séance, donne ensuite quelques renseignements sur la construction des planimètres : il pense que l'emploi de cet instrument est la méthode la plus sûre et la plus prompte pour les relevés cadastraux, les calculs sur les volumes des déblais ou des remblais, etc.

L'invention du planimètre remonte à 1825 ; il est à peu près certain que MM. Conello, de Florence, et Oppikofer, de Berne, l'ont imaginé en même temps. M. Erst, de Berlin, n'a été que le constructeur de l'appareil de M. Oppikofer.

L'exposition de Londres contenait quatre planimètres : un de M. Conello, un d'un constructeur anglais, un d'un Allemand et un de M. Wettli, ingénieur de Zurich.

Celui de M. Conello a eu la médaille de 1re classe, comme étant le premier construit ; celui de M. Wettli a eu une médaille de 2e classe, comme le plus parfait, le plus exact et le plus facile à manier.

Des expériences faites à Vienne par une commission d'ingénieurs ont prouvé que le planimètre de Wettli, quand il est manié par une main un peu exercée, donne des résultats exacts à 1/1500e près.

Un membre ajoute que l'on voit au Conservatoire un planimètre de M. Erst et un dynamomètre totalisateur très curieux à étudier.

SÉANCE DU 21 NOVEMBRE 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE LONDRES.

Wagons.

M. BRIDEL communique à la Société de nouveaux renseignements sur l'exposition de Londres.

Avant l'établissement du chemin de fer de Rouen, dit-il, les boîtes à

graisse des wagons étaient rigoureusement guidées par les plaques de garde.

Sur le chemin de Rouen et sur toutes les lignes construites depuis, on leur a donné un jeu assez considérable.

Enfin, M. Lechatelier décrit, dans son ouvrage sur les chemins de fer d'Allemagne, des wagons dans lesquels les plaques des gardes sont complétement supprimées.

On remarquait à l'exposition une grande voiture à huit roues qui se rapprochait, par son mode de suspension, de celle dont parle M. Lechatelier. Le châssis de cette voiture était composé de deux châssis ordinaires, assemblés bout à bout. Les boîtes à graisse étaient fixées, comme dans nos wagons, sous les ressorts, au milieu de leur longueur; mais le châssis était suspendu à ces ressorts par de doubles menottes en fer articulées, qui permettaient un grand développement, soit dans le sens transversal, soit dans le sens longitudinal.

Le constructeur a conservé les plaques de garde, mais seulement dans la prévision d'une rupture des suspensions; aussi les boîtes à graisse flottaient-elles très librement dans ces plaques de garde. On dit que cette voiture parcourt sans danger des courbes de 75 mètres de rayon.

UN MEMBRE affirme avoir voyagé sans aucun mouvement de lacet dans des voitures accouplées et suspendues au moyen de menottes brisées. Ces voitures présentaient dans les boîtes à graisse, et surtout dans le sens transversal, un très grand jeu, qui allait jusqu'à 8 et 12 centimètres. Le but de l'accouplement de deux voitures est de résister par une plus grande masse aux mouvements qui produisent le lacet; celui des menottes brisées et du jeu des boîtes à graisse est de permettre aux roues de se déplacer sur la voie sans entraîner les caisses.

Ces voitures étaient très douces; le seul inconvénient qu'on pourrait leur reprocher serait l'accouplement de deux voitures lorsque les besoins du service n'en réclameraient qu'une seule, ou encore la difficulté de leur faire faire les mouvements de gare aussi facilement que lorsqu'elles sont séparées. En Angleterre, où la circulation est très active, ces inconvénients ont peu d'importance; mais en France, où les trains se forment et se déforment journellement, l'emploi de ce système serait moins praticable.

Quant à la prétention de parcourir facilement des courbes de 75 mètres de rayon, elle peut paraître exagérée; et d'ailleurs, si on en excepte les mouvements de gare, cet avantage sera peu important tant que les locomotives elles-mêmes ne s'y prêteront pas.

Il est ensuite question des plaques de garde pour wagons à marchandises employés sur le North-Western. Elles se composent principalement d'une barre de fer plat laminé, contournée en fer à cheval, dont les deux branches rectilignes servent de guides aux boîtes à graisse. On encolle au bout de ces deux branches des contrefiches, également en fer plat, qui sont boulonnées à leur autre extrémité sur les brancards. Enfin on relie les pointes des plaques par des entretoises ou une barre d'écartement, comme dans le système ordinaire.

Comme solidité, ces nouveaux appareils ne laissent rien à désirer, car le fer y est employé partout de la manière la plus avantageuse, et les points

d'attache sont très écartés. Leur prix de revient est bien inférieur à celui des plaques en tôle, parce que la matière première est moins chère, et parce que, à force égale, ils sont plus légers. Enfin, ces plaques étant très solidement attachées, on pourrait sans doute supprimer les barres d'écartement, dont l'utilité même, dans le mode de construction ordinaire, est assez problématique. On fait en ce moment des essais de ce genre au chemin de fer d'Orléans.

DEUX MEMBRES constatent que ces plaques sont surtout avantageuses sous le rapport de l'économie de fabrication. En Angleterre, elles se vendent à des prix peu différents des prix du fer laminé; il est vrai que les contrefiches ne sont que grossièrement encollées sur les extrémités de la partie en fer à cheval.

En France, on ne se contenterait sans doute pas d'un travail aussi peu soigné; mais, à l'aide de quelques modifications dans le mode de fabrication et dans la disposition des plaques elles-mêmes, on parviendrait sans peine à établir ces nouvelles plaques dans d'excellentes conditions de solidité et à des prix beaucoup inférieurs à celui des plaques en tôle actuellement en usage.

Chaînes de sûreté.

On a remarqué sur plusieurs chemins de fer que les chaînes de sûreté se brisent presque toujours quand elles entrent en action; aussi commence-t-on à les supprimer. Quelquefois on les remplace par une chaîne unique, qui agit au milieu de la largeur du châssis; on évite ainsi les tractions obliques qui, dans le système ordinaire, résultent du passage dans les courbes ou d'une différence de longueur des deux chaînes.

UN MEMBRE ajoute qu'au chemin de fer d'Alsace il a attaché les chaînes de sûreté sur le ressort de traction même, de sorte que, quand l'attelage se rompait, les chaînes de sûreté agissant sur ce ressort n'éprouvaient pas un choc aussi brusque et ne se brisaient pas.

On fait observer que, puisque les chaînes de sûreté ne fonctionnent pas d'une manière satisfaisante et qu'elles peuvent être la cause de dangereux accidents, le remède le plus radical serait de les supprimer tout à fait, et de profiter ainsi, au moins pour les wagons à marchandises, d'une certaine économie qui résulterait de cette suppression. Sur plusieurs chemins anglais, on s'est contenté d'exagérer les dimensions des crochets pour éviter leur rupture.

On signale aussi l'emploi de la tôle ondulée comme très fréquent en Angleterre; on l'a appliquée à quelques uns des wagons exposés. Les parois ou couvertures en tôle ondulée sont continues et fixées extérieurement à la carcasse de la caisse; elles donnent ainsi de la rigidité à la charpente et préservent les assemblages; mais elles sont fort lourdes.

UN MEMBRE fait observer que la tôle s'emploiera pour ces usages plus facilement en Angleterre qu'en France, à cause de la différence de prix pour le fer et pour le bois, et il ajoute que les wagons en fer, en général, doivent présenter ce grave inconvénient d'être, lorsqu'ils ont été déformés, très coûteux à réparer.

Freins.

Un seul mérite d'être cité. Il se compose de quatre sabots fixés à l'extrémité de leviers dont les points fixes sont pris sur les boîtes à graisse ; on manœuvre ces leviers par l'intermédiaire de bielles, d'arbres à manivelles et de vis, comme les sabots des freins qui enraient les roues.

Les sabots agissent en pressant directement sur les rails ; ils soulèvent donc le wagon et le transforment en un traîneau.

Le principe de ce frein n'est pas nouveau, mais les détails en sont fort simples. Au chemin de Eastern-Counties, on l'adapte aux machines-tenders qui sont actuellement en construction dans les ateliers de la Compagnie.

Roues.

Plusieurs constructeurs anglais ont exposé des roues à moyeux forgés pour machines et pour wagons.

1° Les roues de Becoroft, Bultler et compagnie, dont les rais sont remplacés par deux disques en tôle légèrement coniques, sont embouties sur toute leur circonférence de manière à présenter une sorte de faux-cercle. On supprime les rivets des bandages en munissant ceux-ci d'une nervure intérieure en forme de queue d'hyronde. Le moyeu est disposé de façon à présenter au milieu de sa longueur une saillie annulaire ; les disques embrassent la queue d'hyronde et la saillie du moyeu. L'assemblage est fait au moyen de rivets qui traversent les trois épaisseurs. Les mêmes constructeurs ont exposé également des roues dont les moyeux sont faits comme ceux des machines Crampton.

2° Dans d'autres roues, on donne à leurs bras une section circulaire ou elliptique ; tantôt ils sont dans un même plan, tantôt ils forment deux surfaces coniques dont les sommets se trouvent sur l'axe du moyeu.

Le raccordement des rais avec le moyeu et avec la jante se fait moins naturellement quand ils ont la forme circulaire que dans le système ordinaire.

3° Les trois modèles exposés par Had sont d'une fabrication économique.

Le premier mode de construction a été proposé en France, il y a quelques années, par M. Crampton. Les rais sont en fer plat, coudés ; ils sont soudés tous ensemble entre deux rondelles rapportées pour former le moyeu ; la jante s'obtient en soudant un coin entre l'extrémité d'un rais et le coude de l'autre. L'attache des rais sur le moyeu, présentant, d'un côté, un congé très doux, de l'autre côté un refouillement aigu, ne satisfait pas complétement.

Les rais du deuxième modèle sont également en fer plat ; ils sont doubles, comme dans les roues coudées à moyeu en fonte. La continuité de la jante est obtenue en soudant des coins entre les coudes des rais ; d'autres coins forment le remplissage du moyeu.

Le troisième mode de construction exige l'emploi de barres laminées dans

des cylindres spéciaux ; mais il donne les plus beaux produits. Chaque rais est double comme dans la roue précédente ; mais la barre qui le forme porte à chacune de ces extrémités un secteur du moyeu.

On conçoit aisément que l'on puisse, à l'aide de ce procédé, donner à toutes les parties de la roue la forme et les dimensions convenables ; ainsi l'on peut donner à la jante une épaisseur supérieure à celle des bras, et raccorder ces bras au moyeu.

Roues en bois.

Sur le North-Western et le South-Western, on emploie des roues en bois qui figuraient à l'exposition.

Le système du South-Western est le plus simple ; il se compose d'un grand nombre de secteurs en bois de bout assemblés au milieu sur un moyeu en fonte, et emmanchés à l'aide de la presse hydraulique dans le bandage qui est alésé (1).

Les rivets sont supprimés et remplacés par deux cercles en fer à rebord boulonné sur le bois, et dont les nervures s'engagent dans deux rainures pratiquées à l'aide du tour sur les deux faces latérales du bandage.

Ce système est un peu compliqué ; néanmoins il est rationnel, car le bandage est également soutenu dans toute sa longueur. L'expérience seule peut apprendre si le bois résiste convenablement aux actions qui tendent à le déformer et à le mâcher. S'il devenait nécessaire de resserrer le bandage, on pourrait intercaler une tôle entre ce bandage et le disque en bois.

Un membre rappelle que M. Arnous avait aussi exposé un petit modèle de roues à raies en bois.

Les constructeurs anglais avaient d'abord compté que les roues en bois présenteraient la propriété de ne pas faire de bruit en roulant, et, dans l'origine, on les appelait, pour cette raison, roues silencieuses ; mais on a reconnu depuis que plusieurs d'entre elles ne méritaient pas cette épithète, précisément à cause du bruit qu'elles font par suite du rétrécissement du bois à la chaleur et du jeu qui en résulte. Ces roues, qui pourraient être employées dans les pays régulièrement humides, ne pourraient pas l'être dans ceux où elles seraient exposées à des alternatives d'humidité et de sécheresse.

Cependant, dans ce dernier cas, on pourrait peut-être obtenir quelques succès par l'emploi de bois comprimés et préparés par un procédé analogue à celui qui est appliqué sur le chemin de fer d'Orléans à Bordeaux pour la fabrication des coins et chevilles employés sur les voies. On a observé d'ailleurs que les bandages calés sur bois, comme sont ceux de M. Verpillieux et de M. Clément Désormes, ne cassent pas et s'usent beaucoup moins vite ; leur durée serait de 25 0/0 au moins plus grande que celle des bandages ordinaires.

UN MEMBRE ne croit pas que l'on doive accorder à ce système une con-

(1) En Allemagne on a construit des roues en bois sur le même principe ; mais le bandage était posé à chaud. On enduisait le bois de terre glaise délayée en bouillie très fine ; on posait le cercle à la manière ordinaire et on le refroidissait par un jet d'eau continu.

fiance absolue, attendu que le décalage d'un ces bandages en pleine marche en aurait mis les inconvénients à découvert.

UN AUTRE MEMBRE signale la facilité du calage en bois, lequel se fait en enfonçant le bois à refus et le lardant de cales obliques en fer de dimensions telles qu'elles occupent la moitié de l'espace compris entre la roue et le bandage.

On fait observer que le chemin de Tours à Nantes fait l'essai de ce système, et que, depuis dix-huit mois que les roues sont en service régulier, elles n'ont pas été retournées, quoiqu'elles aient déjà effectué un parcours considérable. Ce système a été également appliqué avec succès à des roues de machines sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche).

UN MEMBRE pense que le calage en bois est le seul qui rende possible l'emploi des bandages en acier, en empêchant leur rupture.

On fait observer que le calage en bois paraît bien préférable à l'emploi des roues entièrement en bois, les grandes dimensions des bois nécessaires à la confection de ces roues les rendant trop susceptibles d'être influencés par les circonstances atmosphériques.

On ajoute que, si l'on parvenait à préparer convenablement les bois, le meilleur système serait un calage sur bois de bout : il éviterait le bruit, diminuerait le poids des roues de 3 à 400 kilog. par wagon, et serait plus économique que les systèmes actuellement employés, tant comme frais de premier établissement que comme entretien des bandages.

On ajoute que les bois employés en Angleterre pour la fabrication des roues sont des bois des îles, rougeâtres, très durs et très résistants.

UN MEMBRE pense que ce sont les mêmes bois qui ont été récemment offerts pour traverses à des prix assez modérés, quoique encore trop élevés pour ce dernier usage.

UN AUTRE MEMBRE croit que ce sont des bois d'acajou de qualité inférieure à celle que l'on emploie pour l'ameublement.

On considère l'acacia et le chêne comme excellents pour les rais des roues.

UN MEMBRE trouve que le frêne français est un des bois les plus résistants; il a l'avantage de faire ressort, et s'emploie en général dans la carrosserie pour des pièces qui exigent de la résistance et de l'élasticité. Il n'a que le défaut de s'échauffer assez promptement; mais on remédierait à cet inconvénient par l'application des procédés connus.

UN MEMBRE profite de l'occasion de la question du calage des roues pour appeler l'attention de la Société sur l'emploi des machines à colonnes d'eau pour la mise au rond des bandages et le cintrage des roues, en profitant tout simplement d'un des réservoirs d'eau établis dans tous les ateliers de chemins de fer. Par un tuyau communiquant au réservoir d'un côté et à un cylindre de l'autre, et au moyen du jeu d'une manette correspondant à une distribution d'eau, on obtient, sans vapeur, une manutention très économique.

L'emploi de la pression de l'eau se rattache d'ailleurs en Angleterre à un système tout à fait général.

On revient ensuite à la description des roues du North-Western, qui sont plus compliquées que celles dont il vient d'être question.

Ces roues se composent de six disques circulaires en bois disposés symétriquement autour du moyeu. La forme de ce moyeu est telle qu'il suit exactement le contour du polygone intérieur formé par les disques. Ceux-ci sont en outre serrés au moyen de boulons entre deux rondelles, dont l'une est venue de fonte avec le moyeu. Enfin les vides extérieurs formés par la juxtaposition des disques reçoivent des coins en fonte serrés dans ces intervalles par des boulons dont les écrous sont logés dans de petites cavités ménagées dans le moyeu.

Le diamètre des disques est tel que le cercle qui leur serait circonscrit soit notablement plus grand que le diamètre intérieur du bandage. On porte la roue sur le tour et on la ramène au diamètre convenable, de sorte que les disques sont tronqués par un cercle dans lequel porte le faux bandage. Ce faux bandage est en fer à deux rebords, il n'est pas soudé ; on fixe le bandage au moyen de six rivets à clavettes ; ces clavettes sont logées dans une virole encastrée au centre de chaque disque.

Les roues du North-Western sont extrêmement lourdes ; elles présentent un grand nombre d'assemblages compliqués, et ne soutiennent pas le bandage aussi uniformément que celles du South-Western.

UN MEMBRE pense que l'application de ce système a été faite pour éviter le retrait des bois, mais il le trouve beaucoup trop compliqué.

SÉANCE DU 12 DÉCEMBRE 1851.

Présidence de M. AUGUSTE PERDONNET.

UN MEMBRE donne communication d'une note sur les expériences de chauffage faites sur le calorifère de l'église Saint-Roch par M. Grouvelle.

On fait remarquer que dans cette note il y a un fait très curieux, c'est celui de toutes les ouvertures qui se trouvent à la partie supérieure de l'église, dont la surface totale, égale à 14 mètres carrés, et placée à 11 mètres en moyenne au dessus du sol, permet cependant le chauffage. Si l'on calcule l'appel produit par une cheminée de cette dimension, on trouve qu'il est tel, qu'il n'y aurait pas de chauffage possible économiquement, et cependant l'expérience est là qui prouve le contraire. Il en faut nécessairement conclure que l'air ne peut traverser ces innombrables petites fentes de 2 millimètres : en effet, on constate que c'est à peine si des courants peuvent s'établir à travers des fentes de 1 à 2 centimètres ; mais ce résultat est encore si surprenant, que, si l'on avait soupçonné l'existence de toutes ces ouvertures, dont la surface totale atteint 14 mètres carrés, on n'aurait probablement pas entrepris ce chauffage.

L'auteur de la note a remarqué que les seules ouvertures où la vitesse de

l'air ait été appréciable sont les trous de $0^m.07$ de diamètre établis pour le passage des cordes qui supportent les lustres.

UN MEMBRE ajoute qu'il ne passe presque pas plus d'air à travers une toile métallique, que cet air soit projeté sur cette toile avec une grande ou une petite vitesse, parce que le frottement augmente avec la vitesse dans un très grand rapport.

On a cependant beaucoup vanté et employé en Angleterre un système de ventilation au moyen de toiles métalliques et de vitres séparées par de petites fentes. Les expériences que l'on vient de citer prouvent que ce système ne doit donner qu'un très faible résultat.

UN AUTRE MEMBRE constate que les toiles métalliques, celles, par exemple, que l'on emploie dans les diligences des chemins de fer, détruisent bien les courants d'air, mais n'apportent pas d'obstacles à sa circulation.

On répond qu'il y a passage de l'air lorsqu'il est appelé par une aspiration de l'extérieur à l'intérieur; mais qu'en sens inverse, ce passage se remarque moins, surtout lorsque l'air arrive avec vitesse. Ainsi, lorsqu'on souffle sur une toile métallique, l'air ne la traverse qu'en petite quantité.

UN MEMBRE explique ce résultat par l'épanouissement du jet; il ajoute que dans tout mouvement il se produit un remou. Ainsi, en projetant une toile métallique ou simplement un balai au centre d'un liquide en ébullition tumultueuse, on calme cette ébullition. Il pense que c'est par une cause analogue que les digues en pierre sèche, qui calment la violence d'un torrent, sont plus solides et tiennent mieux que les digues en maçonnerie.

On rappelle également que l'ébullition tumultueuse d'une grande chaudière peut aussi être apaisée par la projection d'un corps gras, d'une simple goutte d'huile. C'est le procédé employé par les fabricants de sucre pour empêcher les sirops de déverser. Franklin avait cru remarquer qu'un effet semblable se produisait sur les vagues de la mer, et on avait même, à la suite de cette prétendue découverte, proposé d'armer de bouteilles d'huile les chaloupes de sauvetage.

UN MEMBRE appelle l'attention de la Société sur un autre fait; c'est que, pour de grands monuments à murs épais, il est préférable d'opérer le chauffage par intermittence, et même à des intervalles assez éloignés. Ainsi, à Saint-Roch, il convient de faire fonctionner le calorifère sans interruption de nuit et pendant trois à quatre jours, puis de le laisser chômer complétement le même temps. C'est un fait nouveau dans l'art du chauffage.

Il signale également que, lorsque les températures intérieures et extérieures sont très différentes, l'ouverture d'une porte de 15 à 28 mètres carrés de surface ne produit pas d'abaissement sensible sur un thermomètre placé dans le voisinage de cette porte; les deux couches d'air chaud et froid restent pour ainsi dire juxtaposées sans se mélanger. Il en conclut qu'il serait très difficile, sans employer des moyens puissants, d'établir dans ces monuments une ventilation d'été, qui serait pourtant bien autrement importante que le chauffage d'hiver pour la conservation des monuments et la santé des personnes qui les fréquentent.

UN AUTRE MEMBRE cite cependant la ventilation du temple juif, de dimension moindre que celle de l'église Saint-Roch. Cette ventilation se produit au moyen de deux cheminées concentriques de 8 mètres de hauteur, à

partir des combles où se fait le feu. La cheminée intérieure est terminée par une base étroite qui entraîne facilement l'air introduit dans le temple par des canaux inférieurs à grande section.

En faisant fonctionner cet appareil, lorsque le temple était vide de monde, on a obtenu une ventilation de 8,000 mètres cubes d'air, et lorsque, au contraire, le temple était plein, la circulation de l'air a été jusqu'à 10,000 mètres cubes, avec une vitesse de 3^{m}.85 à 4 mètres; la température est restée constante depuis le matin jusqu'au soir, et égale à la partie supérieure comme à la partie inférieure. On a enfin remarqué que, lorsqu'on ouvrait les portes, il s'introduisait dans l'édifice une quantité d'air froid très considérable.

On pense que ces faits ne contredisent nullement ceux que l'on a cités précédemment; la différence d'effet provient du tirage d'appel, qui n'existe pas dans le cas du chauffage de l'église; l'air extérieur alors ne tend pas à se précipiter à l'intérieur, et les deux masses d'air chaud et froid juxtaposés à l'ouverture de la porte, et à peu près à la même tension, ne tardent pas à se mélanger.

Quant à la faible différence de température que l'on constate entre l'air supérieur et l'air inférieur, on se l'explique par la résistance qu'apportent à l'introduction de la petite masse d'air froid par les fissures les courants volumineux d'air chaud qui tendent à la relever.

SÉANCE DU 26 DÉCEMBRE 1851.

Présidence de M. EUGÈNE FLACHAT, *vice-président.*

Cette assemblée générale est celle dans laquelle le trésorier rend ses comptes, et où le Bureau et le Comité sont renouvelés par l'élection pour l'année suivante.

L'ordre du jour appelle l'exposé du trésorier sur la situation financière de la Société.

M. Loustau, trésorier, constate que le nombre des sociétaires, qui était, au 20 décembre 1850, de 228
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de 14

Ce qui porte ce nombre, au 26 décembre 1851, à 242

Les versements effectués pendant l'année 1851 se sont élevés à	8,650 fr.	65 c.
Les dépenses, pendant la même année, ont été de . .	7,009	90
Solde en caisse au 26 décembre 1851.	1,640	75

Le trésorier engage les membres retardataires à verser au plus vite leur arriéré, dont le chiffre total s'élève à 1,456 fr.

Il engage en outre tous les sociétaires à répondre à l'appel qui leur a été fait par le Bureau et le Comité en apportant à la caisse un supplément de cotisation volontaire, et il rappelle que les membres du Bureau et du Comité ont donné l'exemple en versant une première somme de 1,225 fr.

Le Président met aux voix l'approbation des comptes. Cette approbation est adoptée.

Les élections ont donné le résultat suivant :

Bureau.

Président :	M.	Eug. FLACHAT.
Vice-Présidents :	MM.	E. VUIGNER,
—		C. CALLON,
—		J. PETIET,
—		C. POLONCEAU.
Secrétaires :	MM.	A. BELLIER,
—		L. YVERT,
—		MATHIEU,
—		GERDER,
Trésorier :	M.	LOUSTAU.

Comité.

MM. FAURE,
CAVÉ,
YVON-VILLARCEAU,
SALVETAT,
NOZO,
DEGOUSÉE,
HOUEL,
BERGERON,
SEGUIN (Paul),
KNAB,

MM. MONY (Stéphane),
THOMAS (Léonce),
BOIS (VICTOR),
LA SALLE,
PEPIN-LEHALLEUR,
A. BARRAULT,
M. ALCAN,
CALLA,
EVRARD,
CHOBRZINSKI.

SÉANCE DU 9 JANVIER 1852.

Présidence de M. EUGÈNE FLACHAT, *président.*

L'ordre du jour appelle la lecture du mémoire de M. Love sur la résistance du fer et de la fonte, basée sur les recherches expérimentales les plus récentes faites en Angleterre.

Il en résulterait que depuis vingt ans il n'a été presque rien ajouté en France aux données pratiques fournies par Duleau et Tredgod sur la résistance du fer et de la fonte.

En Angleterre, au contraire, on a travaillé la question, et l'on a reconnu que les anciennes formules et les expériences faites en vue de déterminer *le point où l'élasticité du métal était altérée* ne présentaient pas assez de certitude.

C'est à M. Hodgkinson que sont dues les principales recherches; toutes les expériences qu'il a faites, il les a poussées jusqu'à la rupture, et c'est de ce point qu'il est parti pour établir toutes ses formules de résistance.

Mais, si les expériences de M. Hodgkinson sont irréprochables, il n'en est pas toujours de même de ses formules. Ainsi, certaines d'entre elles n'ont pas une forme commode pour les praticiens. Elles ont été remplacées par d'autres d'une application plus facile. En outre, des lacunes importantes avaient été laissées par l'expérimentateur ; l'auteur du mémoire s'est encore efforcé de les combler. Ces lacunes consistaient dans l'absence de formules générales de la résistance des piliers creux, carrés ou rectangulaires, et des poutres creuses en tôle.

DU FER ET DE LA FONTE SOUMIS A LA TRACTION.

Au moment où les expérimentateurs anglais ont repris l'étude des propriétés du fer et de la fonte, il était admis :

1° Que dans certaines limites le fer ou la fonte, sous l'action de charges croissantes, s'allongeaient régulièrement et proportionnellement à la charge ;

2° Qu'il existait un point appelé limite d'élasticité où cette loi cessait d'exister et où l'allongement augmentait dans une proportion plus rapide que la charge ; en outre, à partir de ce point, le métal conservait un allongement permanent, c'est-à-dire que, la charge étant enlevée, il ne revenait pas à sa longueur primitive ;

3° Que sous la même charge le fer s'allongeait plus que la fonte ;

4° Qu'il y avait dans les esprits une tendance à croire que, dans la seconde phase de l'élasticité du métal, il se trouvait un point assez éloigné de celui où se produisait la rupture instantanée, où l'action de la charge prolongée pendant un certain temps augmentait sans cesse l'allongement observé, et finissait par provoquer la rupture ;

5° Enfin on admettait que la résistance du fer et de la fonte, dans des échantillons de même calibre, mais de provenances diverses, variait assez peu pour qu'on pût prendre une *moyenne de résistance*.

La plupart de ces opinions se trouvent modifiées, et, d'après les nouvelles expériences, il faudrait admettre :

1° Que la proportionnalité entre l'allongement et la charge n'existe pas ;

2° Qu'un allongement permanent se manifeste sous les plus petites charges, et qu'il n'y a par conséquent pas de *limite d'élasticité ;*

3° Que sous la même charge la fonte s'allonge plus que le fer ;

4° Que le fer et la fonte, soustraits aux chocs ou aux vibrations, suppor-

tent indéfiniment les charges les plus voisines de celles capables de produire la rupture instantanée ;

5° Que la diversité de résistance des mêmes matériaux ne permet pas de compter sur une *moyenne de résistance.*

Enfin, il paraîtrait, d'après les expériences de M. Brunel, que la nature cristalline ou fibreuse du fer ne serait pas un indice absolu de sa résistance et de sa qualité.

ALLONGEMENT DU FER ET DE LA FONTE.

Pour l'allongement des barres soumises à un certain poids, M. Hodgkinson a déduit de ses expériences la formule ci-contre, qui donne l'allongement en fonction du poids et de la longueur primitive de la barre ; cette formule est pour la fonte :

$$P = 969{,}568\,\frac{a}{L} - 188{,}500{,}268\,\frac{a^2}{L^2}.$$

a représente l'allongement.

P est exprimé en kilogrammes, a et L en centimètres, d'où :

$$a = L\left(0{,}002\,571\,794 - \sqrt{0{,}00\,000\,661\,412 - 0{,}00\,000\,000\,530\,503P}\right)$$

Pour le fer

$$a = \frac{l}{1\,934\,565}.$$

Si l'on applique ces formules à des barres de fer et de fonte de même section et de même longueur, on trouve que pour une barre de 10 mètres et sous une charge de 1000 kilog., la fonte s'est allongée de $1^{cm}.373$.

Et le fer de $0^{cm}.516$.

C'est-à-dire que, dans ce cas, la fonte s'allonge près de trois fois autant que le fer.

RÉSISTANCE FINALE DU FER ET DE LA FONTE A LA RUPTURE PAR TRACTION.

Les limites des variations de rupture de la fonte sont très étendues ; elles ont été de $7^k.77$ à $18^k.11$ par millimètre carré. On voit par là le peu de valeur des moyennes ; mais ces variations sont beaucoup moins sensibles pour des fontes de même provenance, et elles donnent la mesure du degré d'approximation que l'on peut espérer obtenir d'une formule pratique.

Le fer présente les mêmes anomalies que la fonte.

D'après Rondelet et Soufflot, les variations allaient de 18 à 92 kilog. par millimètre carré ; aujourd'hui il n'y a pas d'expériences qui dépassent 60 kilog. pour le fer au bois le mieux travaillé, et 33 kilog. pour les fers laminés obtenus au charbon minéral. En écartant le chiffre extrême de 92 kilog.,

nous aurions encore deux limites *maxima* et *minima* beaucoup plus éloignées l'une de l'autre que pour la fonte.

M. Stephenson a confirmé, par ses expériences, les résultats cités par Navier sur la résistance de la tôle travaillant soit dans le sens du laminage, soit perpendiculairement à ses fibres.

Enfin, M. Hodgkinson a trouvé par expérience ce que la théorie démontre, c'est-à-dire que, lorsqu'une barre est tirée suivant une ligne tracée sur sa surface au lieu de l'être suivant son axe, sa résistance diminue des deux tiers.

DU FER ET DE LA FONTE SOUMIS A LA COMPRESSION.

Les observations générales présentées plus haut sur l'opinion accréditée et sur les nouvelles bases résultant d'expériences nombreuses relatives à la traction s'appliquent entièrement au fait de la compression.

La formule qui, déduite des observations, donne le raccourcissement d'une barre, est pour la fonte :

$$r = L\left(0,0\,119 - \sqrt{0,000\,125\,387 - 0,0\,000\,000\,246P}\right).$$

Pour le fer :

$$r = \frac{PL}{1\,621\,231}.$$

P est exprimé en kilogrammes, r et L en centimètres.

Si l'on soumet des barres de fer et de fonte de 1 centimètre carré de section et de 10 mètres de longueur à une charge de 1000 kilog., on trouve un raccourcissement de $1^{cm}.16$ pour la fonte, et de $0^{cm}.678$ pour le fer.

Ainsi donc, pour le raccourcissement comme pour l'allongement, c'est la fonte qui travaille le plus. Ce résultat est tout à fait opposé aux idées reçues jusqu'à ce jour.

RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR COMPRESSION.

Les expériences de M. Hodgkinson, faites sur dix-sept espèces de fonte, ont donné pour résistance moyenne par millimètre carré $60^{k}.267$, tandis que chez nous on admet généralement 10 kilog.

Dans ces expériences, la hauteur de la barre était de une fois et demie à 4 fois la largeur de la base ; c'est du résultat obtenu dans ces circonstances que l'on part pour établir les formules de résistance des piliers ou colonnes.

Ici encore les variations de résistance ont été très grandes ; la fonte qui a le moins résisté a cédé sous la charge de $38^{k}.86$ par millimètre carré, et celle qui a le plus résisté a pu supporter $84^{k}.67$. Le fer et la fonte, sous la forme de prismes ou de cylindres dont la hauteur ne dépasse pas quatre ou cinq fois le diamètre, se comportent différemment sous des efforts de compression. La fonte éclate en plusieurs morceaux ; le fer s'aplatit visiblement en se gonflant vers le milieu de sa hauteur, puis se gerce. Dans le premier cas,

rien n'est plus facile que de saisir le point de rupture ; dans le second, ce point est au contraire difficile à déterminer. Il paraîtrait cependant que l'on peut fixer à 40 kilog. par millimètre carré la résistance maximum à la compression du bon fer en barre et à 38 kilog. celle de la tôle de bonne qualité ayant de 1/2 millimètre à 15 millimètres d'épaisseur.

L'auteur a continué la lecture de la partie de son Mémoire qui a trait à la résistance des piliers. Il rend compte des expériences de M. Hodgkinson et des formules qu'il en a tirées. Il discute ces formules et en propose d'autres obtenues par un procédé différent de celui qui a été suivi par l'expérimentateur.

Cette partie de la résistance du fer et de la fonte, étant de la plus grande importance, sera reprise en entier dans la séance prochaine, avec la partie relative à la résistance du fer et de la fonte à un effort transversal.

SÉANCE DU 23 JANVIER 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. Love reprend la lecture de son mémoire sur la résistance du fer et de la fonte, basée principalement sur les recherches expérimentales les plus récentes faites en Angleterre.

RÉSISTANCE DES PILIERS OU COLONNES.

Les seuls renseignements que l'on possède en France sur ce sujet et que l'on trouve dans les auteurs qui traitent de la résistance des matériaux, consistent dans un tableau que nous rapportons ci-après, et qui donne les résistances décroissantes des colonnes en fer et en fonte, à mesure que le rapport de leur longueur à leur diamètre augmente ; et deux formules de Tredgold, que l'on a considérées à tort comme des formules empiriques, et qui sont, au contraire, le résultat d'une théorie particulière sur la résistance des piliers.

DÉSIGNATION des MÉTAUX.	Densité.	Rapport de la longueur de la pièce à la plus petite dimension transversale ou $\frac{L}{D}$				
		au dessous de 12	12	24	48	60
Fonte	7.21	10,000	8,333	5,000	1,666	833
Fer	7.79	4,900	4,084	2,450	516	408

FORMULES DE TREDGOLD.

Résistance d'un pilier en fonte de longueur L et de diamètre D :

$$P = \frac{230D^4}{1.24D^2 + 0,00\,039L^2}.$$

Résistance d'un pilier en fer de longueur L et de diamètre D :

$$P = \frac{267D^4}{1.24D^2 + 0,00\,034L^2}.$$

Suivant l'auteur du mémoire, le tableau ci-dessus est inexact et il se trouve en désaccord complet avec les formules de Tredgold : ce qui n'empêche pas qu'on les trouve à côté l'un de l'autre dans les mêmes auteurs, comme s'ils donnaient des résultats concordants.

Relativement aux formules de Tredgold, M. Love ne conteste pas absolument qu'elles puissent, dans certains cas très rares, donner des résultats d'accord avec l'expérience ; mais il fait, aux auteurs qui les ont rapportées, le reproche d'avoir négligé d'avertir le praticien des circonstances où elles peuvent s'appliquer et de la valeur des résultats obtenus. Ainsi, il paraîtrait, d'après Tredgold lui-même :

1° Que ses formules ne sont applicables qu'à des colonnes dont la longueur excède 30 fois le diamètre, et composées d'une fonte dont la résistance maximum à la compression par centimètre carré atteint 10,000 kilog.;

2° Qu'elles ne donnent que le 1/3 du poids de rupture ;

3° Qu'elles supposent la résultante des pressions dirigée suivant une génératrice, au lieu de l'être dans la direction de l'axe du pilier.

Or, d'après les expériences de M. Hodgkinson, un pilier pressé comme le suppose Tredgold perd les 2/3 de sa résistance. De sorte que les formules en question ne représentent que le neuvième de la résistance du pilier à bases planes pressé suivant l'axe. Il suit de là qu'un ingénieur habitué à des formules qui donnent la résistance finale à la rupture, et ignorant les circonstances qui viennent d'être énumérées, multiplierait par le coefficient de sécurité 3 ou 4 le poids P, et se trouverait ainsi, à son insu, avoir déterminé le diamètre d'une colonne capable de supporter 27 ou 30 fois la charge permanente qui lui serait destinée.

M. Hodgkinson a déduit de ses expériences des formules qui ne sont autres que les formules théoriques d'Euler, dans lesquelles il a introduit un coefficient pratique et des exposants fractionnaires un peu différents de ceux théoriques. Ces formules sont d'une application incommode, car le diamètre du pilier y entre à la puissance 3.60 et la longueur à la puissance 1.70. En outre, elles ne sont pas disposées pour s'adapter aux résistances variables des fontes de provenances diverses. Enfin, elles ne s'appliquent qu'à des piliers dont la longueur atteint 30 fois le diamètre. Pour des piliers plus courts, M. Hodgkinson a composé une formule particulière dépendante de

la formule des piliers longs et qui s'accorde assez bien avec les résultats de l'expérience.

En partant des expériences de M. Hodgkinson, M. Love a obtenu des formules beaucoup plus simples et qui ont, en outre, d'après lui, l'avantage d'être générales, c'est-à-dire de s'adapter aussi bien aux piliers courts qu'aux piliers longs. Il met sous les yeux de la Société le tableau des expériences de M. Hodgkinson, dans lequel il a placé en regard les poids de rupture de l'expérimentation et ceux calculés par ses formules nouvelles, et il montre que ces résultats s'accordent avec l'expérience, dans les limites qu'il est possible d'atteindre actuellement en pratique ; limites qui ont été déterminées dans la partie du mémoire lue dans la séance précédente.

Si l'on applique ces formules à deux séries de piliers de 1 cent. carré de section, l'une en fonte et l'autre en fer, la première présentant une résistance maximum à la compression de 8,000 kilog., la seconde une résistance de 4,000 kilog., la hauteur des piliers étant comprise entre 10 et 100 fois le diamètre, on trouve :

DÉSIGNATION des MÉTAUX.	Rapport de la longueur de la pièce à la plus petite dimension transversale ou $\frac{L}{D}$										
	au dessous de 5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fonte. . .	8,000	4,476	2.859	1,784	1,168	1,013	588	445	351	277	230
Fer. . . .	4,000	2,500	2,285	2,000	1,702	1,428	1,194	1,000	842	714	610

D'après le premier tableau, qui sert encore de guide aux praticiens français, il résulterait que, tant que la longueur du pilier n'atteint pas 12 fois son diamètre, le métal conserve sa résistance maximum à la compression, tandis que, d'après le dernier, dressé par M. Love, cette résistance n'est plus que la moitié environ de la résistance maximum lorsque la longueur du pilier n'est encore égale qu'à dix fois le diamètre seulement. En outre, il suivrait encore du premier tableau que la fonte conserve pour toutes les longueurs la supériorité qu'elle a sur le fer dès le commencement ; suivant le dernier, au contraire, le fer l'emporterait sur la fonte dès que la longueur du pilier atteindrait 30 fois son diamétre. Ce fait nouveau, qui découle des nombreuses expériences de M. Hodgkinson, explique et justifie la préférence donnée par les ingénieurs anglais au fer sur la fonte, dans certaines de leurs constructions les plus récentes.

M. Love entre ensuite dans les détails les plus circonstanciés sur la marche qu'il a suivie pour obtenir les nouvelles formules. La méthode consiste d'abord à disposer les résultats des expériences de M. Hodgkinson dans un ordre particulier, capable de faire ressortir la manière dont se comportent, les uns par rapport aux autres, les divers éléments de la résistance des pi-

liers ; puis à rechercher si les évolutions de ces éléments, convenablement combinés entre eux, peuvent être représentées par une courbe d'une forme régulière. Il fait voir que l'on arrive par ce moyen à une courbe parfaitement définie, appartenant à la forme parabolique et représentée par l'équation générale $Y = AX^m + B$: et en y introduisant les valeurs de A et de m déduites des expériences, il obtient finalement une formule générale d'une forme très simple, dans laquelle le diamètre et la longueur du pilier entrent seulement à la seconde puissance.

PILIERS CREUX CYLINDRIQUES.

Les résultats fournis par l'expérience permettent de considérer, sans erreur appréciable, la résistance d'un pilier creux cylindrique, en fonte ou en fer, comme étant égale *à la différence des résistances de deux piliers pleins, de même longueur, et ayant respectivement pour diamètre : le premier le diamètre extérieur, le second le diamètre intérieur du pilier creux proposé.*

PILIERS CREUX CARRÉS OU RECTANGULAIRES EN FER.

Il paraîtrait que M. Hodgkinson n'a pas tiré grand parti de ses expériences nombreuses sur la résistance des tubes en fer à section carrée, rectangulaire, etc. Il en a conclu que la résistance de cette sorte de piliers n'était assujettie à aucune loi. M. Love a trouvé, au contraire, que cette résistance pouvait être exprimée assez exactement par la formule :

$$R = \frac{A + B'}{2} + B,$$

dans laquelle R désigne la résistance totale du pilier proposé ;

A celle de deux parois opposées, calculées comme si elles appartenaient à un pilier plein ayant les dimensions extérieures du pilier creux ;

B′ celle de ces mêmes parois, calculées séparément comme deux piliers rectangulaires, ayant pour épaisseur celle de la tôle des tubes, et pour hauteur, la dimension transversale de ce tube perpendiculaire à ces parois ;

B la résistance des deux autres parois, calculée de la même manière que B′.

L'auteur du mémoire fait observer ici que, quoique cette règle paraisse compliquée au premier abord, elle est néanmoins d'un emploi très facile, puisqu'elle consiste purement et simplement dans trois applications successives de sa formule générale des piliers pleins dont il vient d'être question.

Il a appliqué cette règle à tous les cas d'expériences de M. Hodgkinson, et il montre, dans un grand tableau disposé à cet effet, que les résultats du calcul cadrent d'une manière suffisamment approchée avec ceux de l'expérience.

L'analogie qui existe entre les lois de résistance du fer et de la fonte lui fait supposer qu'une formule semblable donnerait la résistance des tubes en

fonte carrés ou rectangulaires. Mais il pense que cette formule serait plus simple et se réduirait à $R = A + B$.

A et B auraient des valeurs analogues à celles décrites précédemment. Il resterait seulement à déterminer quelle hauteur il faudrait attribuer au pilier rectangulaire dont B représente la résistance.

Il rapporte ensuite les résultats des expériences de M. Hodgkinson sur l'influence qu'exerce sur la résistance des piliers longs la manière dont leurs extrémités sont terminées ou fixées. On remarque entre autres faits importants celui-ci : c'est qu'un pilier dont les extrémités sont planes et solidement assises offre une résistance trois fois plus grande que celui dont les extrémités sont arrondies.

Comme on le pense bien, la forme de la section a aussi une grande influence sur la résistance. Ainsi, par exemple, M. Hodgkinson a trouvé que la forme adoptée pour les bielles de machines à vapeur à balancier présente une résistance moitié de celle qu'aurait une bielle à section égale uniformément cylindrique.

FLEXION DES PILIERS.

M. Hodgkinson a conclu de ses expériences, contrairement aux idées généralement reçues avant lui, que les piliers devaient commencer à fléchir sous les plus petites charges. De ces mêmes expériences, M. Love a déduit un fait important, qui semble avoir échappé à M. Hodgkinson : c'est que la flèche du pilier correspondante à la charge de rupture n'atteignait jamais la moitié du diamètre de ce pilier. Il en a conclu qu'au moment où le pilier atteint son maximum de résistance, aucune partie de la section n'est encore soumise à un effort de traction, et que, par conséquent, toutes les théories de la résistance des piliers basées sur cette hypothèse qu'une partie de la section est, *à ce moment*, comprimée, et l'autre tirée, sont fausses.

Il en résulte aussi, suivant l'auteur du mémoire, qui entre à cet égard dans quelques développements, que l'on ne peut tirer le moindre enseignement de l'aspect présenté par la section de rupture sur le mode de résister du solide. Il fait voir ensuite que l'hypothèse ancienne, qui consiste à regarder les solides comme divisés en tranches parallèles et perpendiculaires à l'axe, ne peut rendre compte du phénomène de la flexion, et il l'explique par une nouvelle hypothèse basée en partie sur la manière dont s'effectue la rupture d'un prisme trop court pour éprouver une flexion. Au reste, il fait remarquer que les formules qu'il a obtenues sont tout à fait indépendantes de cette hypothèse, ou de toute autre qu'il plairait à un physicien d'imaginer pour expliquer la flexion des colonnes ou piliers.

DU FER ET DE LA FONTE SOUMIS A UN EFFORT TRANSVERSAL.

M. Love examine d'abord le cas des solides pleins en fer et en fonte, à section rectangulaire et reposant par leurs extrémités sur des appuis, et il trouve que, pour mettre la formule connue d'accord avec les expériences par traction et par effort transversal sur des barreaux présentant environ

6cq, 50 de section, il faut substituer le coefficient numérique 1/3 au coefficient reçu 1/6. C'est parce que ce coefficient, déduit de la théorie pure, est inexact, que l'on a trouvé, en expérimentant sur des barreaux par effort transversal, une valeur de la résistance à la traction à peu près double de celle que donne l'expérimentation directe par traction.

Mais, pour que la formule soit applicable à des barreaux en fonte de divers calibres, il ne suffit pas d'en changer le coefficient; car, à mesure que le calibre augmente, le taux de la résistance à la traction qui entre dans cette formule baisse rapidement. Pour tenir compte de cette nouvelle circonstance, M. Love a trouvé, par tâtonnements, qu'il suffit de multiplier le résultat donné par la formule par le facteur (1.18—0,07D), D désignant la plus petite des deux dimensions transversales du barreau.

Les coefficients numériques des formules applicables aux autres solides à section pleine circulaire, triangulaire, etc., doivent aussi être modifiés comme il vient d'être dit pour la section carrée ou rectangulaire. De plus, l'auteur du mémoire fait remarquer, en terminant cet article, que c'est à tort que les auteurs français admettent que deux solides ayant même section triangulaire, dont l'un reposerait sur une arête et l'autre sur une de ses faces, présentent la même résistance. L'expérience prouve que ce dernier est beaucoup plus résistant.

SOLIDES ÉVIDÉS EN FER. — PONTS TUBULAIRES.

Les solides à section creuse ou évidée *en fer* ont le même coefficient numérique que les solides à section pleine dont ils dérivent. En outre, la formule théorique doit subir une autre modification, qui consiste, pour les solides à section carrée ou rectangulaire, dans la suppression de la hauteur H au dénominateur; de plus, les hauteurs extérieure et intérieure H et H′ ne doivent entrer au numérateur qu'à la 2e puissance. Enfin, le solide pouvant céder par traction ou par compression, suivant la disposition adoptée et le mode d'assemblage, la formule, au lieu de la résistance à la traction, doit contenir l'une ou l'autre des deux résistances, suivant le cas. Pour déterminer celle des deux qu'il faut adopter, F désignant sa valeur, voici comment on doit opérer, d'après M. Love :

1° Calculer le taux de la résistance à la traction de la partie inférieure du solide, en tenant compte de l'affaiblissement résultant du mode d'assemblage des parties;

2° Calculer le taux de la résistance à la compression de la partie supérieure comme si elle faisait partie d'un pilier creux carré ayant pour côté la dimension horizontale et transversale du tube proposé, et supposer que le tube doit céder latéralement;

3° Introduire pour F, dans la formule, la plus petite des deux résistances trouvées.

M. Love a calculé par cette règle les tubes expérimentés par M. Hodgkinson, offrant les dimensions les plus variées. Il a fait dresser un tableau de ses expériences, dans lequel il a figuré, sur une échelle proportionnelle, la section exacte de ces tubes. Il appelle successivement les résultats de l'ex-

périmentation et ceux du calcul placés en regard les uns des autres, et montre qu'ils sont aussi approchés que peuvent l'être des résultats de ce genre.

La même règle s'applique également aux cas où les tubes, au lieu de présenter une épaisseur de tôle uniforme, ont la partie inférieure plus épaisse que la partie supérieure, aussi bien qu'à ceux où ces parties ont la forme cellulaire, comme dans les ponts de Conway et de Menai. Seulement, dans ce dernier cas, il faut ramener le tube à la forme rectangulaire simple, en supposant la masse de fer des cellules concentrée et répartie également de chaque côté de la ligne qui passe par le centre de gravité des cellules.

En outre, une chose essentielle à noter dans le cas où le toit et le plancher du tube sont d'une épaisseur inégale, c'est que la hauteur intérieure H' n'est pas égale à $H-(e+e')$ comme on pourrait le croire, mais bien à $H-2e''$, e'' désignant l'épaisseur de la partie par laquelle le tube doit céder d'après la règle ci-dessus.

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. Love continue la lecture de son mémoire sur la résistance du fer et de la fonte.

RÉSISTANCE DES POUTRES ÉVIDÉES EN FONTE DE FORMES DIVERSES.

Il fait remarquer que les poutres sont de trois espèces : 1° celles qui dérivent de la forme carrée ou rectangulaire, et que l'on obtient en évidant intérieurement ou extérieurement des poutres pleines à section carrée ou rectangulaire, ce qui donne des solides évidés ayant soit la forme d'un tube ou celle connue sous le nom de forme double T ; 2° celles qui dérivent des solides circulaires ou elliptiques pleins ; 3° enfin celles que l'on obtient en évidant intérieurement ou extérieurement un solide plein, de section triangulaire.

Les formules applicables à ces divers cas ont la même forme que les formules applicables au fer, avec cette différence que le taux de la résistance qui y entre est toujours celui de la résistance à la traction. En outre, les coefficients numériques au lieu d'être les mêmes que ceux des solides pleins primitifs, n'en sont que les 0.70. Enfin la valeur de H' est toujours égale à H, moins deux fois l'épaisseur du renfort inférieur.

Outre ces trois catégories de solides de formes usitées en pratique, il en est une quatrième imaginée par M. Hodgkinson, et qui consiste en une

poutre à deux renforts inégaux qui doivent être dans le rapport de 1 à 5 ou 6, pour présenter la plus grande résistance possible, et que M. Love examine particulièrement sous ce titre :

DE LA MEILLEURE FORME A DONNER A UNE POUTRE EN FONTE.

Suivant M. Hodgkinson, la meilleure forme, c'est-à-dire celle qui utilise mieux le métal sous le rapport de la résistance, est celle qu'il a imaginée. Il fonde cette opinion sur des expériences comparatives qu'il a faites entre des poutres de cette forme et celles présentant la forme de deux renforts égaux ou à un seul renfort. Mais il paraît que la comparaison établie par M. Hodgkinson n'est pas tout à fait juste ; car, dans sa poutre, il réduit la tige verticale à n'être plus que le 1/7e environ de la section totale, en reportant l'excédant de matière sur les renforts, tandis qu'il refuse le bénéfice de cette disposition aux autres. C'est ainsi que, dans la poutre à deux renforts égaux de Tredgold, la tige verticale est près de la moitié de la section totale. Si l'on redresse cette comparaison de manière que les diverses poutres comparées ne diffèrent plus qu'en ce qui concerne le système particulier auquel chacune d'elles appartient, on trouve que la plus résistante est celle à un seul renfort inférieur ; celle de M. Hodgkinson à deux renforts inégaux vient en seconde ligne, et celle de M. Tredgold à deux renforts égaux en troisième.

M. Love termine ce qui est relatif aux poutres en fonte par des applications à des poutres de ponts de chemins de fer. Dans l'une de ces applications, il trouve l'occasion de faire voir que, lorsque les dimensions en épaisseur de la poutre dépassent 2 centimètres 1/2, le poids de rupture donné par la formule doit être réduit par l'application du facteur (1,18—0,07D), dont il a déjà été question.

Toutes les formules qui entrent dans le mémoire de M. Love se rapportent aux cas de charges statiques. Pour se mettre à l'abri de tout accident, lorsqu'il s'agit de déterminer les dimensions d'une poutre, il faut faire entrer dans ces formules, à la place du poids de rupture, 3 fois la plus grande charge que cette poutre aurait à supporter en repos, et 6 fois cette même charge si elle devait être animée d'une grande vitesse.

Le mémoire se termine par un appendice dans lequel l'auteur donne le modèle d'un tableau qui devrait être dressé par MM. les ingénieurs des mines pour arriver à connaître les résistances du fer et de la fonte de toutes les usines françaises, et les diverses circonstances qui ont pour effet de faire varier ces résistances dans des limites aussi étendues que celles dont il a été question dans le cours du mémoire. Ces circonstances étant mieux connues, on pourrait seulement alors trouver le moyen d'apporter dans les procédés chimiques et mécaniques de la fabrication des modifications telles que le taux de la résistance devînt plus uniforme, sinon plus élevé.

Après cette lecture, un membre fait alors remarquer qu'il serait nécessaire que l'auteur du mémoire fît connaître la méthode suivie par M. Hodgkinson pour faire ses expériences, ainsi que les divers détails des opéra-

tions. Il rappelle que les barres expérimentées pour connaître la résistance à la traction avaient 3 mètres de longueur et étaient suspendues à la charpente du bâtiment dans lequel on opérait. Les résultats obtenus de cette manière sont remarquables par leur faiblesse, puisque les ruptures se sont produites sous une charge moyenne de 10 à 12 kil. par millimètre carré de section. Il lui semble que ces résultats ne peuvent être donnés que par des corps cristallisés, présentant des textures très variables dans leur longueur. — Il dit à ce sujet qu'on a fait chez MM. Pinart frères, à Marquise, pour le compte de la Compagnie de Saint-Germain, des expériences analogues à celles de M. Hodgkinson; mais on a expérimenté snr des barreaux beaucoup plus courts. Ils avaient $0^m,25$ de longueur et $0^m,020$ de diamètre. Généralement ils ont cédé à la traction sous un effort de 16 à 19 kil. par millimètre carré de section ; tandis que, parmi les longs barreaux expérimentés par M. Hodgkinson, ceux qui étaient en fonte stirling (fonte qui est le résultat d'un mélange) sont les seuls qui aient atteint un effort de 18 kil. environ avant de céder à la traction. Il faudrait donc en conclure que la longueur des barres a une influence sur leur résistance à la traction.

De plus, il lui semble que la détermination du coefficient de résistance de la fonte, suivant son épaisseur, aux efforts de traction, n'est pas susceptible d'être donnée par une formule, car on a remarqué que dans les moulages, tandis que l'intérieur d'une pièce, étant cristallisé et à facettes, est peu résistant, la croûte extérieure, au contraire, présente beaucoup plus de résistance. Elle semble avoir reçu, par le refroidissement subit, une espèce de trempe. Quand les pièces sont épaisses, le sable est plus échauffé et la croûte résistante est plus profonde ; son grain est fin et serré sur une plus grande épaisseur. Le coefficient constant ne serait encore applicable qu'autant que la surface de la fonte serait refroidie aussi rapidement, ce qui n'est pas le cas.

Les ingénieurs de la marine soumettent à des épreuves toutes les pièces de fonte qu'ils reçoivent : leur méthode consiste à presser sur ces pièces posées sur deux supports. Cette méthode, qui a pour but d'obtenir des valeurs relatives, est bonne pour obtenir les résultats que ces ingénieurs se proposent; mais elle est trop spéciale, et ressemble en ce point aux méthodes anglaises, qui consistent toujours à faire des expériences en vue seulement du travail que l'on doit exécuter, mais qui ne généralisent jamais, de sorte que, quand on ne se trouve pas dans des circonstances identiques avec celles qui ont accompagné leurs expériences, on ne peut guère tirer parti des résultats obtenus. En France, au contraire, où l'on ne peut consacrer beaucoup de capitaux à des expériences relatives à chaque cas particulier de construction, il faut chercher à faire des expériences plus générales et à tirer de celles qui sont faites tout le parti possible. C'est là un des services les plus importants que le mémoire qui vient d'être lu est appelé à rendre.

Quant à la résistance des matériaux à l'écrasement, les expériences que l'on devrait faire sont très compliquées et très coûteuses.

Il ne reste guère que celles qui sont faites en vue de la résistance à la traction qui puissent être entreprises chez nous, et il y a lieu de les suivre avec le plus grand soin.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer que, jusqu'à présent, toutes les théories sur la résistance des matériaux ne se préoccupent, dans le cas d'un solide encastré, que d'écrire deux équations d'équilibre qui comprennent comme forces le poids du solide, la charge qu'on veut lui faire supporter et les résistances moléculaires de la partie non encastrée. Il croit qu'on a tort de ne pas écrire une troisième équation, dans laquelle on ferait entrer les résistances des actions moléculaires de la partie encastrée dans le plan même qui sépare la partie encastrée du solide de celle qui ne l'est pas.

Il rappelle, à ce sujet, qu'il a été étonné que M. Navier, dans son Cours de mécanique, ait négligé dans ses applications cette troisième équation.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer que Navier, dans son ouvrage, commence par poser les trois équations, mais qu'il néglige ensuite l'une d'elles dans les applications qu'il en a faites, parce que, dans les cas qu'il a consignés, elle peut en effet être négligée.

UN MEMBRE fait observer qu'en effet la remarque qui vient d'être faite relativement à l'oubli de la troisième équation d'équilibre a une grande valeur quand on veut faire jouer à l'encastrement un rôle important dans la résistance, ce qui doit avoir lieu lorsque les solides employés sont très longs, et qu'au lieu d'être formés d'une seule pièce, ils se composent d'un assemblage de plusieurs morceaux. Il rappelle que c'est cet effort, de la plus haute importance, que les ingénieurs anglais qui ont construit les ponts tubes de Menai et de Conway ont appelé l'effort tranchant, et qui leur a permis de déterminer exactement la gradation d'épaisseur qu'il fallait donner aux parois de ces tubes, en employant des tôles très épaisses près des points d'appui et plus minces au milieu des portées, tandis que le haut et le bas ont, au contraire, des épaisseurs plus grandes au milieu des portées qu'aux approches des points d'appui.

L'auteur du mémoire répond ensuite aux observations qui lui ont été adressées sur son travail. Il fait remarquer que les expériences faites par M. Hodgkinson sur de grandes barres de 15 mètres de long avaient pour but de constater que, même sous de faibles charges, la fonte s'allonge quand on la soumet à des efforts de traction, et de faire connaître exactement l'importance de cet allongement; mais que, pour déterminer la résistance des pièces à ces efforts de traction, on n'avait opéré que sur des barreaux qui avaient seulement $0^{m}.50$ de longueur.

Quant à la faiblesse que l'on impute aux résultats de M. Hodgkinson, il fait remarquer que c'est une erreur : car, si les plus faibles poids de rupture n'ont été que de 7 kil., quelques uns ont été jusqu'à 18 kil. Il persiste à croire que les poids de 16 à 19 kil., qui lui ont été indiqués comme étant la résistance des fontes françaises en général, sont peut-être exceptionnels, comme ceux de 18 k. qui ont été obtenus en Angleterre; que, d'ailleurs, on ne serait pas fort éloigné du résultat qu'il indique, surtout si l'on se rappelle que les expériences anglaises ont été faites sur trente-quatre espèces de fonte, aussi bien sur celles du Yorkshire, du Straffordshire et de l'Ecosse, que sur celles du Midi ; tandis que celles qu'on lui cite n'ont été faites que sur des fontes de l'usine de Marquise, et que, par conséquent, elles tendraient seulement à prouver que les fontes de cette provenance présentent une grande résistance à la traction ; mais elles ne peuvent pas donner une idée de la résistance

moyenne des fontes en France. Il rappelle, à ce sujet, que MM. Minart et Desormes ont fait, il y a trente ans, des expériences assez nombreuses sur les fontes françaises, d'après lesquelles il résulte une moyenne générale un peu inférieure à celle trouvée par M. Hodgkinson.

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

THÉORIE DE LA COULISSE STEPHENSON.

M. Phillips, ingénieur des mines, a la parole pour une communication relative à la théorie qu'il a faite pour expliquer le jeu de la coulisse Stephenson dans les machines locomotives.

Il commence par établir que, pour chaque cran de la détente, les barres d'excentriques impriment à la coulisse des mouvements de rotation successifs autour de certains centres instantanés de rotation. Il fait voir que, pour chaque position, ces centres instantanés se trouvent à l'intersection de la bielle de suspension avec la ligne qui joint le centre de l'essieu moteur et le point d'intersection des deux barres d'excentriques prolongées, si c'est nécessaire, dans la position qu'elles occupent au moment que l'on considère. Il fait voir ensuite que, ce centre instantané étant connu, en le prenant comme centre pour décrire 2 petits arcs de cercle ayant chacun pour rayon les distances du centre instantané aux points d'attache des barres d'excentriques avec la coulisse, et cherchant ensuite l'intersection de ces deux petits arcs par deux autres décrits des extrémités des rayons d'excentricité comme centres et avec les barres d'excentriques comme rayons, on peut arriver à faire une épure séparée pour chacun des crans de détente.

Il dit que, d'après des considérations déduites de sa théorie, et qu'il indiquera plus tard, l'on peut se borner, en général, à faire l'épure une fois, et qu'il suffit ensuite de mener des horizontales par les points de la coulisse qui répondent aux divers crans de détente, pour avoir, avec une exactitude bien suffisante, la marche pour chaque cran.

AVANCE LINÉAIRE DU TIROIR.

Il serait important, quand on parcourt les divers crans de détente, que l'avance linéaire du tiroir ne variât pas. Pour obtenir une avance constante, la

théorie indique que, quand le piston est à l'une des extrémités de sa course telle que les barres d'excentriques ne se rencontrent qu'en arrière de l'axe moteur, le rayon de fabrication de la coulisse serait donné par la formule

$$R = \frac{cd}{c - r \sin \theta},$$

dans laquelle c est la 1/2 longueur de la coulisse, d la longueur des barres d'excentriques, r le rayon d'excentricité, et θ le complément de l'angle de calage ; et que, quand le piston est à l'autre extrémité de sa course, où les barres d'excentriques se rencontrent en avant de l'axe moteur, le rayon de fabrication est donné par la formule

$$R' = \frac{cd}{c + r \sin \theta}.$$

Or, R est plus grand que la distance entre le centre de l'essieu moteur et la coulisse, et R' est plus petit que cette même distance. Il s'ensuit que la théorie indique que, pour avoir une avance du tiroir constante pour les deux extrémités de la course du piston et pour chaque cran de la détente, il faut satisfaire à deux conditions incompatibles.

On pourrait donc, dans la pratique, prendre pour le rayon de fabrication de la coulisse une moyenne entre R et R', ce qui donnerait

$$R_1 = \frac{c^2}{c^2 - r^2 \sin^2 \theta}.$$

Mais il est encore plus exact de chercher le rayon qui établit une moyenne entre les différences qui auront lieu aux deux extrémités de la course du piston. Quand on cherche ce rayon, on trouve précisément $R_2 = d$. Ainsi, le véritable rayon de fabrication de la coulisse doit être égal à la longueur des barres d'excentriques, résultat que l'expérience avait déjà indiqué. Il s'ensuit que, quand le système de distribution est celui des barres droites, l'avance linéaire du tiroir augmente à mesure qu'on détend davantage ; et que, quand on emploie des barres croisées, cette avance diminue à mesure qu'on détend davantage : dans les deux cas, les variations de cette avance sont toujours plus faibles que la flèche de la courbure de la coulisse. M. Phillips indique, du reste, le moyen de calculer, pour chaque cran de détente, ces variations, qui sont la différence des flèches répondant au rayon théorique et au rayon réel pour l'arc compris entre le point d'intersection de la coulisse avec l'horizontale qui répond au point mort, et celui de la coulisse qui répond au cran de détente considéré. M. Phillips ajoute qu'il définit système des barres droites celui dans lequel, la manivelle étant en arrière de l'axe moteur, les barres d'excentriques ne se rencontrent qu'en arrière de cet axe ; et système de barres croisées, celui dans lequel, la manivelle étant dans la même position, les barres d'excentriques se rencontrent en avant de cet axe.

MARCHE DU TIROIR COMPARÉE A CELLE DU PISTON POUR CHAQUE CRAN DE DÉTENTE.

M. Phillips établit les deux formules suivantes, qui font connaître à chaque instant l'inclinaison de la coulisse avec la verticale. Ces équations sont :

$$\alpha = \frac{r}{c} \sin\theta \sin\omega$$

pour le système des barres droites, et

$$\alpha = -\frac{r}{c} \sin\theta \sin\omega$$

pour celui des barres croisées.

Dans ces équations, r est le rayon d'excentricité ; c, la demi-longueur de la coulisse ; ω, l'angle de révolution de la manivelle, à partir de l'instant où le piston était à fond de course vers l'arrière ; θ, le complément de l'angle de calage, et α, l'angle que fait la corde de la coulisse avec la verticale au moment considéré. M. Phillips démontre par ces formules que, dans tous les cas, 1° l'angle α est nul quand $\omega = o$ et quand $\omega = 180°$; 2° que cet angle atteint son maximum quand $\omega = 90°$; 3° que pour 2 valeurs de ω différentes de 180°, α a des valeurs égales et de signes contraires ; 4° que l'angle α redevient le même pour deux valeurs de ω également distantes de 90° ; 5° qu'il varie, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnellement au rayon d'excentricité et au sinus du complément θ de l'angle de calage et en raison inverse de la longueur de la coulisse ; 6° enfin que l'angle α est indépendant de la longueur des barres d'excentriques pourvu que cette longueur soit assez grande.

Il donne ensuite 4 formules au moyen desquelles on peut résoudre toutes les questions relatives à la marche du tiroir comparée à celle du piston.

Ces formules sont :

Barres droites.

$$\xi = r\cos(\theta - \omega) + \frac{ur}{d}\sin(\theta - \omega) - \frac{ur}{c}\sin\theta\sin\omega$$

(marche en avant).

$$\xi = r\cos(\theta + \omega) + \frac{ur}{d}\sin(\theta + \omega) + \frac{ur}{c}\sin\theta\sin\omega$$

(marche en arrière).

Barres croisées.

$$\xi = r\cos(\theta - \omega) - \frac{ur}{d}\sin(\theta - \omega) - \frac{ur}{c}\sin\theta\sin\omega$$

(marche en avant).

$$\xi = r\cos(\theta + \omega) - \frac{ur}{d}\sin(\theta + \omega) + \frac{ur}{c}\sin\theta\sin\omega$$

(marche en arrière).

Dans ces formules, u représente la distance du coulisseau au point d'attache de la barre d'excentrique la plus voisine, quantité qui dépend du cran auquel on marche et qui est donnée, et ξ est le chemin parcouru par le coulisseau depuis l'instant où le tiroir est au milieu de sa course.

Ces formules font connaître à chaque instant la position du tiroir pour une position quelconque de la manivelle. Réciproquement, si l'on voulait avoir l'angle de la manivelle pour une position quelconque et donnée du tiroir, on devrait se servir de la formule suivante :

$$tg\omega = \frac{1}{\xi^2 - B^2}\left(AB \pm \xi\sqrt{A^2 + B^2 - \xi^2}\right),$$

dans laquelle A et B sont les coefficients de cos ω et de sin ω, quand on a mis celle des quatre formules précédentes qui se rapporte au cas en question sous la forme

$$\xi = A\cos\omega + B\sin\omega,$$

forme qu'on obtient très facilement en remplaçant

$$\sin(\theta + \omega) \text{ par } \sin\theta\cos\omega + \cos\theta\sin\omega;$$
$$\sin(\theta - \omega) \text{ par } \sin\theta\cos\omega - \cos\theta\sin\omega:$$
$$\cos(\theta + \omega) \text{ par } \cos\theta\cos\omega - \sin\theta\sin\omega;$$
$$\text{et } \cos(\theta - \omega) \text{ par } \cos\theta\cos\omega + \sin\theta\sin\omega.$$

A l'aide de ces formules, il fait voir que, dans tous les cas, et quel que soit le cran, la coulisse oscille de part et d'autre d'un point constant dont la distance d, au centre de rotation de l'essieu moteur, est la moyenne entre les distances du point le plus éloigné et du point le plus rapproché de ce même centre, où la coulisse vient rencontrer la parallèle à l'axe du piston qui passe par le centre de l'essieu moteur pendant les oscillations produites par la marche, en supposant que le cran de détente ne varie pas. De plus, 2 positions de la coulisse, à égales distances de ce point, répondent toujours à 2 angles de la manivelle différant entre eux de 180°. Le tiroir oscille donc de part et d'autre d'une verticale passant par le milieu de sa course, et ses positions symétriques, de part et d'autre de cette verticale, répondent à des angles de rotation différant entre eux de 180°. Si donc on place les lumières d'admission de vapeur symétriquement par rapport à cette même verticale, il en résulte que les quatre formules dont il vient d'être parlé représentent le chemin parcouru par le tiroir à partir de sa position moyenne, ce chemin étant compté positivement quand le tiroir marche de l'arrière vers l'avant de la machine, et négativement quand il marche en sens contraire. De plus, quand le tiroir passe d'abord par une position donnée, puis y revient, la somme des angles de rotation qui répondent à une même position du tiroir est constante et double de l'angle de rotation qui a lieu quand le tiroir arrive à l'extrémité de sa course. Par conséquent, l'angle de rotation qui a lieu depuis une position du tiroir jusqu'à l'instant où il commence à rétrograder est toujours égal à l'angle de rotation depuis le moment où il rétrograde jusqu'à celui où il repasse par sa première position.

M. Phillips tire ensuite les conséquences suivantes de ces 4 équations :

1° La durée de l'admission, celle de la détente, l'échappement et la com-

pression sont très sensiblement, toutes choses égales d'ailleurs, indépendantes du rayon d'excentricité. Il influe seulement sur les courses du tiroir et sur les ouvertures de lumière.

2° Toutes choses égales d'ailleurs, on a des admissions plus longues avec le système des barres d'excentrique croisées, qu'avec celui des barres droites, et la différence est d'autant plus grande, que l'on opère avec plus de détente, résultat qui est confirmé par l'expérience.

3° L'avance à l'échappement est plus petite avec les barres croisées qu'avec les barres droites.

4° Il y a moins de compression avec les barres croisées qu'avec les barres droites.

5° Les barres étant droites ou croisées, plus l'angle de calage est petit, plus les admissions sont longues.

6° Plus le tiroir est mené par un point voisin du milieu de la coulisse, moins les admissions sont longues, ce qui est la propriété fondamentale de la coulisse.

7° L'avance à l'échappement et la compression augmentent toujours, à mesure qu'on détend davantage.

8° La course du tiroir diminue, dans tous les cas, à mesure qu'on détend davantage; et toutes choses égales d'ailleurs, on a des courses plus petites avec les barres croisées qu'avec les barres droites.

9° La coulisse s'incline d'autant plus que sa longueur est moins grande, que le rayon d'excentricité est plus grand, et que l'angle de calage est plus petit.

M. Phillips fait voir enfin qu'au moyen de ces formules, et sans aucune épure, étant donnés les divers éléments d'une distribution, c'est-à-dire le rayon d'excentricité, l'angle de calage, la longueur de la coulisse, celle (pour chaque cran) de la partie de sa corde comprise entre son extrémité et sa rencontre avec la parallèle à la course du piston passant par le centre de l'essieu moteur, le recouvrement extérieur et intérieur de chaque côté, on peut facilement déterminer de quelle manière s'opère la distribution pour les différents crans de détente, c'est-à-dire qu'on peut avoir l'avance linéaire du tiroir, sa course, l'admission de la vapeur, l'ouverture maximum de la lumière d'admission, la durée de la détente, celle de l'échappement et celle de la compression.

2° Etant données les conditions auxquelles doit satisfaire la distribution, c'est-à-dire l'admission pour divers crans, les ouvertures de lumières, l'avance à l'échappement, etc., on peut en déterminer les éléments, c'est-à-dire ce que doivent être le rayon d'excentricité, l'angle de calage, en supposant qu'il soit le même pour les deux excentriques, le recouvrement extérieur, etc.

M. Phillips a fait voir que le cas où le calage des deux excentriques est différent se ramène très simplement à celui du calage symétrique. En appelant θ_0 et θ_1 les angles répondant à l'excentrique de la marche en avant et à celui de la marche en arrière, appelant σ la demi-somme

$$\frac{\theta_0 + \theta_1}{2}, \text{ et } \varepsilon \text{ la demi-différence } \frac{\theta_0 - \theta_1}{2} \Big\}$$

il suffit de remplacer, dans toutes les formules qui se rapportent au calage symétrique, θ par σ et ω par $\omega+\varepsilon$. Ainsi, on aurait

$$\xi = r\cos(\sigma-\omega-\varepsilon)+\frac{ur}{d}\sin(\sigma-\omega-\varepsilon)-\frac{ur}{c}\sin\sigma\sin(\omega+\varepsilon)$$

pour la marche en avant, avec les barres droites. Les autres formules se transformant de même, on aurait :

$$tg(\omega+\varepsilon)=\frac{1}{\xi^2-B^2}(AB\pm\xi\sqrt{A^2+B^2-\xi^2}).$$

A et B étant ici les coefficients de $\cos(\omega+\varepsilon)$ et de $\sin(\omega+\varepsilon)$, quand on a mis la valeur de ξ sous la forme $\xi = A\cos(\omega+\varepsilon)+B\sin.(\omega+\varepsilon)$.

Avec le système de calages différents on peut résoudre exactement les mêmes questions qu'avec le calage symétrique. M. Phillips fait voir que ce système offre, sur celui du calage symétrique, l'avantage de pouvoir pousser la détente plus loin, tout en conservant la même admission, à pleine admission.

Pour donner une idée du degré d'exactitude de la théorie précédente et du degré de confiance qu'on peut lui accorder, M. Phillips cite l'exemple suivant ; c'est une des applications qu'il en a faites.

MACHINES MIXTES DU CHEMIN DE FER DE L'OUEST.

Données.

$r = 0^m,058$, $d = 1^m,396$,
$\theta = 60^o$, $2c = 0^m,292$.

Système des barres croisées.

Nos des crans de détente marche en avant.	Courses du tiroir données par la formule	Courses du tiroir données par l'expérience.
0	$0^m,048$	$0^m,048$
1	$0^m,054$	$0^m,054$
2	$0^m,06333$	$0^m,064$
3	$0^m,0749$	$0^m,073$ fort.
4	$0^m,088$	$0^m,089$
5	$0^m,1017$	$0^m,102$
6	$0^m,116$	$0^m,116$

M. LE PRÉSIDENT exprime à M. Phillips ses remercîments pour la communication qu'il a bien voulu faire.

UN MEMBRE fait observer qu'en étudiant avec des gabarits en bois et en grandeur d'exécution la distribution des machines du chemin de fer d'Orléans, on est arrivé à toutes les conclusions générales signalées par M. Phillips dans son mémoire, et notamment pour ce qui est de l'influence de la disposition des barres droites ou des barres croisées sur la détente plus ou moins prolongée.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer que la pratique est tout à fait d'accord avec la théorie qui vient d'être émise quant à ce qui regarde le rayon de fabrication des coulisses de Stephenson, qui doit toujours être plus grand que la distance de la coulisse (supposée placée au point mort) au centre de l'essieu ; que, de même, quel que soit le cran de détente, le mouvement angulaire d'admission est constant, la section seule d'admission est modifiée par le rayon d'excentricité. On est arrivé aux mêmes résultats avec les machines du chemin de fer d'Orléans.

Il demande ensuite à l'auteur du mémoire s'il a essayé de faire au chemin de fer de l'Ouest l'application de ses formules. M. Phillips répond que sur les machines, telles qu'elles sont construites, l'application des formules l'avait conduit à augmenter, dans une proportion très notable, l'excentricité et par suite la longueur des tiroirs.

Il ajoute que, sous le rapport de la distribution, il attacherait une très grande importance, au point de vue des ouvertures des lumières, à ce que les rayons d'excentricité fussent plus grands qu'on ne les fait habituellement ; qu'il ne craindrait pas de les porter jusqu'au double. Seulement, c'est aux ingénieurs et aux constructeurs à examiner jusqu'à quelle limite certaines considérations pratiques, comme la pression des tiroirs, la difficulté de manœuvrer le levier du mécanisme, l'usure résultant d'un trop grand frottement, etc., provenant d'une grande longueur et d'une grande course du tiroir, permettent d'augmenter les rayons d'excentricité. M. Phillips ajoute qu'il croit que ces difficultés pratiques ne sont pas insurmontables, et il pense qu'il y aurait un tel avantage à avoir de grandes ouvertures de lumières, qu'il serait d'un grand intérêt de réaliser ce perfectionnement.

Après ces observations, M. le président invite M. Le Chatelier à prendre la parole pour une communication sur la distribution de la vapeur dans les cylindres, et sur une disposition qui permet d'augmenter le passage dans les lumières pendant l'admission de la vapeur.

M. LE CHATELIER fait remarquer que la détente produite par l'emploi de la coulisse Stephenson, ainsi que toute détente par recouvrement à un seul tiroir, a l'inconvénient de ne permettre qu'une faible ouverture aux lumières d'admission de vapeur ; il en résulte une perte considérable de pression dans le passage de la vapeur de la chaudière aux cylindres, perte qui va quelquefois jusqu'à moitié de la pression initiale ; c'est donc une très mauvaise condition pour l'emploi de la vapeur.

Aux inconvénients inhérents à ce système viennent se joindre ceux de la haute pression à laquelle on marche avec des locomotives.

En Angleterre, on a cherché à augmenter l'ouverture des lumières pendant l'admission à l'aide d'une disposition assez ingénieuse et qui prend beaucoup d'extension.

Le tiroir conserve ses dimensions et formes primitives ; seulement, on monte pleins les bords longitudinaux extérieurs jusqu'à la partie supérieure du tiroir, qui forme, dès lors, une surface plane dans toute sa longueur.

Dans chacun de ces deux bords ainsi augmentés, et extérieurement à la coquille, on ménage deux rainures ou mieux deux lumières qui correspondent avec celles du cylindre, et qui, dans les périodes ordinaires d'admission, mettent en communication la boîte à vapeur avec l'intérieur du cylin-

dre. Cette communication est ouverte ou fermée au moyen d'une plaque en fonte dressée et percée de deux lumières de mêmes dimensions que celles du tiroir avec lesquelles elles correspondent alternativement pendant chaque période d'admission.

Cette plaque est entraînée par le mouvement du tiroir ; mais sa course est limitée par des taquets placés dans la boîte à vapeur, de telle sorte que le tiroir, marchant dans un sens et parcourant sa course, une des lumières qu'il porte vient se placer sous celle correspondante de la plaque, et donne, par cet endroit, accès à la vapeur dans le cylindre. Rien n'étant changé aux dimensions du tiroir pendant la période d'admission, la vapeur s'introduisant, comme d'ordinaire, dans le cylindre, la section d'admission est augmentée de toute celle de la nouvelle ouverture.

Ces lumières sont évidemment combinées de façon à ce que jamais, dans la période d'échappement, la boîte à tiroir ne soit en communication avec celles du cylindre. Cette plaque augmente nécessairement la longueur du tiroir et augmente nécessairement aussi le frottement ; mais il faut remarquer que le mouvement de cette plaque est de 2 cent. 1/2 environ ; que, de plus, on l'a percée d'un trou en son milieu, de façon à l'équilibrer autant que possible, en mettant la vapeur sur ses deux faces. A cet effet, le tiroir est creusé sur une portion de sa face supérieure, ce qui permet à la vapeur de s'introduire.

L'application de la plaque sur le tiroir se fait au moyen de ressorts, afin que le contact ait toujours lieu, quelle que soit l'usure de celui-ci.

Cette disposition reçoit depuis quelque temps, en Angleterre, beaucoup d'applications.

M. POLONCEAU dépose deux échantillons de rondelles en caoutchouc vulcanisé, préparé par la méthode américaine, et qu'il a laissées plongées pendant six semaines dans une chaudière à vapeur, en les suspendant par un fil de fer, de façon à ce qu'elles ne touchent pas le fond. Ces rondelles ne présentent d'autre altération que celle de la résistance du caoutchouc qui a conservé son élasticité, mais se déchire plus facilement. M. Polonceau ajoute qu'on peut avec avantage les employer à faire les joints des brides de cylindres et de tuyaux.

UN MEMBRE fait observer qu'on les a déjà employées avec succès en Amérique pour les joints des trous d'homme.

UN AUTRE MEMBRE dit que, pour résister à une température élevée de la vapeur, il faut que le caoutchouc soit bien préparé. Au chemin de fer de Saint-Germain, où l'on a essayé de l'employer comme garniture de tige de piston de joints et de conduites des machines atmosphériques, le caoutchouc a été décomposé, il s'est fondu et a coulé. Cela a été attribué à l'influence du contact de l'huile.

M. POLONCEAU répond que, depuis trois semaines, il a des garnitures de joints ainsi faites, aux niveaux d'eau de ses chaudières, et que, jusqu'ici, elles n'ont pas bougé ; mais alors elles ne sont pas en contact direct avec la vapeur seule, et puis il n'y a pas de friction comme dans le cas des machines de Saint-Germain, où, en outre de la chaleur, il y avait le frottement de la tige.

SÉANCE DU 5 MARS 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. LE CHATELIER, ingénieur en chef des mines, a la parole pour continuer sa communication sur quelques règles pratiques à suivre dans la construction des machines locomotives.

Il relève d'abord une erreur qui a été introduite dans le compte-rendu de la dernière séance sur la description qu'il a faite du tiroir additionnel pour augmenter dans les machines locomotives la section des lumières.

Ce tiroir est fixé et n'est pas entraîné par le mouvement du tiroir principal, ainsi qu'on l'a dit et ainsi que cela a été fait déjà dans plusieurs systèmes de tiroirs pour produire la détente.

Il dit ensuite qu'il s'est proposé de chercher s'il ne serait pas possible d'établir empiriquement quelques rapports entre les conditions de service des machines locomotives et les dimensions des éléments qui constituent leur puissance. Il a été amené à énoncer les règles suivantes, qui, bien entendu, n'ont rien d'absolu, et qui sont des moyennes dont on peut s'écarter plus ou moins, suivant les circonstances dans lesquelles on est placé; mais alors, si l'on s'en écarte, on sait pourquoi on le fait et quelle sera la conséquence de cette déviation de la règle, tandis que, jusqu'ici, c'est à peu près au hasard que les éléments principaux des machines ont été combinés.

1° Pour éviter de fatiguer le mécanisme par une trop grande vitesse d'oscillation des pistons, *le nombre de tours de roues motrices pour* 1 *mètre doit être compris entre* 2 1/2 *et* 3. Cette règle, formulée dans le *Guide du mécanicien*, paraît avoir été accueillie par un assentiment assez général, et il la maintient. On en déduit le diamètre D des roues motrices.

2° L'effort moyen que la vapeur doit développer sur les pistons est

$$T = p\frac{d^2 l}{D},$$

p étant la pression moyenne utile de la vapeur en kilogr. par centimètre carré, d le diamètre des pistons, l la course, D le diamètre des roues motrices. T est en même temps la somme de résistance de toute nature que le mouvement développe.

La valeur de T *sera déduite de la formule de Wyndham Harding* (*Guide du mécanicien*, pag. 547 et 549), dont l'expression est

$$T' = 2{,}72 + 0{,}094V + 0{,}00\,484\frac{NV^2}{P}.$$

T′ étant la résistance par tonne du poids du convoi en kilogrammes, V la vitesse en kilomètres à l'heure, N la surface de front du véhicule en mètres et P le poids du convoi en tonnes.

En faisant $N=5$, on a

$$T'=2,72+0,094V+0,0242\frac{V^2}{P}.$$

On calculera, au moyen de cette formule, la résistance sur niveau des véhicules qui composent le convoi, y compris la machine et le tender. On augmentera de 25 0/0 ou de 20 0/0 cette quantité, suivant qu'on s'occupera d'un convoi de voyageurs ou de marchandises, pour tenir compte des résistances additionnelles dues au travail de la vapeur et aux frottements du mécanisme ; on y ajoutera la résistance due à la gravité sur le profil qu'on a considéré ; le résultat, multiplié par le poids brut du convoi exprimé en tonnes, donnera la valeur de T.

3° *L'adhérence sera supposée égale à* 1/6, proportion qui paraît généralement admise ; on calculera avec ce coefficient, connaissant la valeur de T, la charge à donner aux roues motrices, et *on en déduira*, *en limitant de* 10 *à* 12 *tonnes cette charge pour chaque essieu, le nombre de paires de roues qui doivent être accouplées.*

4° Dans la formule $T=p\frac{d^2l}{4}$, si l'on suppose que la chaudière soit timbrée à sept atmosphères, en tenant compte de la perte de pression dans les conduits de vapeur, et les diminutions de pression utile qui a lieu par suite de la détente, par suite de l'avance à l'échappement de la contre-pression pendant l'échappement et de la compression, on est conduit à admettre, pour la valeur de p, $4^{atm},5$, ou $4^{kil},64$ par centimètre carré. On suppose, bien entendu, que lorsque la machine effectue un travail maximum, elle travaille en pleine admission, et c'est sur ce cas que l'on règle les dimensions des pistons et de la chaudière, tandis que le diamètre des roues est réglé sur la vitesse habituelle que prend la machine sur niveau ou à la descente. Ceci posé, on *déduira de la formule* $T=p\frac{d^2l}{D}$ *la valeur de* d^2l, et si l'on s'est donné *d à priori*, la valeur de *l*, ou *vice versa.*

5° *Le rapport de la surface de chauffe* S *du foyer à la surface de chauffe* S′ *des tubes doit être* $\frac{S}{S'}=\frac{1}{10}$. Cette règle est déduite de la comparaison de 15 machines anglaises et de 15 machines françaises, et conforme à l'opinion déjà exprimée par plusieurs ingénieurs.

Les 15 machines anglaises ont donné le rapport 0,96 : 10, qui ne diffère pas sensiblement de 1 : 10 ; les 15 machines françaises donnent le rapport 0,83 : 10, qui est notoirement trop faible, et qui résulte de ce que nos foyers, placés généralement en porte-à-faux, ont une dimension trop restreinte.

6° *Le rapport de la surface de chauffe totale, du volume engendré par les pistons*, dont la consommation de vapeur dépend, *doit être* $\frac{S+S'}{dl}=1$,

S et S′ étant exprimés en mètres carrés, et d et l en décimètres.

M. LE CHATELIER a trouvé, pour 18 machines anglaises, $\frac{S+S'}{d^2l}=1,15$,

et pour 18 machines françaises $\frac{S+S'}{d^2l}=0,93$. Ce dernier rapport est encore plus faible que ne l'indique le chiffre qui précède, car les tubes ont une proportion beaucoup trop grande dans nos machines ; on est autorisé à prendre $\frac{S+S'}{d^2l}=1$, qui représente la moyenne, si l'on remarque que l'ensemble de nos machines manque de surface de chauffe, et que les Anglais, qui ne font pas usage du tuyau d'échappement variable, en ont en général un excès dans leurs machines.

Au moyen de ces données, il a calculé les dimensions de trois types de machines placées dans des conditions de service différentes.

1er Exemple. — *Trains express de huit wagons, pesant chacun* 7 *tonnes* 1/2, *marchant habituellement à la vitesse de* 80 *kilom. à l'heure, sur des rampes de* 5 *millimètres par mètre ; poids de la machine* 26 *tonnes, et du tender* 11 *tonnes.*

2e Exemple : *Train-omnibus marchant avec* 16 *wagons de* 7 *tonnes et demie, à une vitesse qui n'excède pas* 45 *kilomètres à l'heure, sur des rampes de* 5 *millimètres et* 55 *kilomètres sur niveau ou à la descente ; poids de la machine* 24 *tonnes, et du tender* 11 *tonnes.*

3e Exemple : *Train de marchandises marchant avec* 40 *wagons de* 9 *tonnes chacun, à une vitesse de* 30 *kilomètres à l'heure à la montée des rampes de* 5 *millimètres, et à la vitesse de* 40 *kilomètres à l'heure sur niveau ou à la descente ; poids de la machine* 28 *tonnes, et du tender* 12 *tonnes.*

Les résultats du calcul sont compris dans le tableau suivant :

	1er exemple.	2e exemple.	3e exemple.
Poids brut du convoi.	97 tonnes	155 tonnes	400 tonnes
Résistance totale.	$1920^{kg},64$	2377^{kg}	4688^{kg}
Charges des roues motrices. .	$11^{t},50$	$14^{t},86$	$28^{t},13$
Nombre des roues accouplées.	»	4	6
Diamètre des roues motrices. .	$2^{m},50$	$1^{m},78$	$1^{m},30$
Diamètre des cylindres. . . .	$0^{m},42$	$0^{m},40$	$0^{m},46$
Course des pistons	$0^{m},59$	$0^{m},57$	$0^{m},62$
Surface de chauffe du foyer . .	$9^{mq},41$	$8^{mq},29$	$11^{mq},94$
Surface de chauffe des tubes. .	$94^{mq},07$	$82^{mq},91$	$119^{mq},40$
Surface totale.	$103^{mq},48$	$91^{mq},20$	$131^{mq},34$

Si l'on compare ces résultats aux dimensions des machines qui correspondent le mieux à ces trois exemples, c'est-à-dire à la machine Crampton du chemin de fer du Nord, à la machine mixte de M. E. Gouin du chemin de fer de Lyon, et à la nouvelle machine à marchandises du chemin de fer du Nord, on verra que les différences, qui ne sont pas d'ailleurs très considé-

rables, correspondent à des améliorations dans la construction de ces machines.

Ainsi que M. Le Châtelier l'a fait remarquer, ces règles n'ont rien d'absolu et de définitif, car un examen plus attentif de la question pourra modifier la valeur des rapports établis, ou faire établir des rapports un peu différents pour les trois sortes de machines, à voyageurs, mixtes et à marchandises; on pourra s'en écarter suivant les circonstances, mais sans cesser pour cela d'en tenir compte, afin même d'apprécier l'importance de ces écarts et les conséquences qui peuvent en résulter. C'est ce qu'il a fait jusqu'à un certain point pour les machines des trains express, qui, si elles montent des rampes de 5 millimètres à 80 kilomètres à l'heure, marcheront souvent sur niveau à 100 kilomètres. Il faut alors sacrifier la conservation du mécanisme à la facilité de construction des roues. De même pour les machines à marchandises très puissantes, si l'on trouve quelque difficulté à leur donner toute la surface de chauffe qu'exigeraient les conditions d'une vaporisation facile, on réduira cette surface de chauffe, mais on saura en même temps qu'il faut compter davantage sur l'emploi d'un échappement à petite section, et s'attendre aux inconvénients qui en résultent, ou ne pas s'étonner si les machines ne peuvent pas gravir les rampes avec la vitesse correspondant aux dimensions de leurs cylindres, que la vapeur ne remplira plus avec une aussi grande facilité.

UN MEMBRE fait observer qu'on aurait dû prendre deux coefficients pour indiquer le rapport qui doit exister entre la surface de chauffe totale et la dépense des cylindres; que ce coefficient ne doit pas être le même pour les machines à voyageurs que pour des machines à marchandises.

L'AUTEUR répond que c'est aussi son avis; que la méthode qu'il a suivie n'a pas un caractère absolu, mais que cependant il ne pense pas que les coefficients pour les machines à marchandises, par exemple, doivent descendre au chiffre que donnent les nouvelles machines à marchandises du Nord. Aussi il pense que, dans le cas de grand travail, ces machines manqueront un peu de vapeur, mais que, dans ce cas extrême, il suffira de marcher à moindre vitesse et à plus grande détente.

UN MEMBRE approuve cette méthode de recherche des rapports, et surtout des rapports simples; mais il pense qu'on peut étendre les limites dans lesquelles M. Le Châtelier les a renfermés; ainsi, il trouve qu'une vitesse de 80 kilomètres à l'heure, qui n'est pas une vitesse exagérée, est trop faible pour un diamètre de roue de $2^m,36$, auquel conduit l'application de ses formules.

M. LE CHATELIER fait observer que la règle qu'il propose, n'étant qu'un guide, servira à s'assurer, dans la pratique, par où on manque, si on ne peut pas remplir par des considérations pratiques toutes les conditions qu'elle trace.

M. LE PRÉSIDENT invite un membre à expliquer ce qui a fait limiter à $2^m,30$ le diamètre des roues pour les nouvelles machines à grande vitesse du chemin de Strasbourg.

CE MEMBRE répond que, par suite de la faible longueur du moyeu qu'on est obligé de donner dans ce système aux roues motrices, on a craint qu'elles ne se déversassent.

Pour des roues de 3 mètres, par exemple, il faudrait donner 230 millimètres au moins de portée de calage, et on ne peut guère dépasser 175 millimètres ; au delà, on augmente l'écartement d'axe en axe des cylindres, l'aplomb des fusées des roues de supports par rapport à ces roues.

Enfin, on place ces machines dans de mauvaises conditions de stabilité. Il ajoute que l'augmentation du diamètre augmente le nombre des rayons, leur poids, et inutilement le poids de ces parties d'une manière considérable.

M. LE CHATELIER répond que le Great-Western emploie depuis longtemps des roues de 2^m,40 de diamètre, mais qu'il est vrai d'ajouter que, sous le rapport de la stabilité, ces machines sont dans de meilleures conditions que les machines Crampton, parce qu'elles ont des fusées extérieures et intérieures, qu'elles sont en quelque sorte emboîtées : aussi ne voit-il pas d'inconvénient général à l'application des règles qu'il a développées dans son mémoire.

UN MEMBRE fait observer qu'au chemin du Nord on ne remarque pas que le grand diamètre des roues des machines Crampton, qui est de 2^m,10, soit pour elles une cause de déversement ; la plus grande cause d'usure et de réparation de ces roues est dans la difficulté d'avoir de bons bandages bien soudés.

UN AUTRE MEMBRE ajoute que, du reste, les limites pour les dimensions sont plus dans les systèmes de machines que dans les principes théoriques et déduits de l'expérience.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite communication d'un travail présenté par M. Jules Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, *relatif à l'évaluation de la puissance et des consommations produites par les machines locomotives employées au remorquage des trains de voyageurs entre Paris et Montereau.*

Les expériences ont été faites sur 6 trains directs et 4 trains omnibus (ou à stations), dans les mois de novembre et décembre 1851.

On a déterminé le travail absorbé par les wagons à l'aide d'un dynamomètre Morin, placé entre le tender et les voitures. Le travail total développé par la machine pour se mouvoir elle-même, et remorquer son tender et le train, a été déterminé approximativement, en supposant, avec Gooch et M. de Pambour, que le travail absorbé par la machine et le tender est 0,15 de celui absorbé par les wagons, auquel chiffre on ajoute 500 kilog., qui est la résistance de traction sur niveau de la machine et du tender.

Le dynamomètre a donné la courbe totale du travail, ou le nombre de kilogrammètres qui, divisé par le temps de marche, a donné le travail par seconde en kilogrammètres et en chevaux-vapeur, en divisant ce dernier chiffre par 75.

On a pris soin de déduire du temps de marche celui pendant lequel le régulateur a été fermé, ainsi que le temps d'arrêt aux stations.

La dépense en coke et en eau s'est faite soigneusement par pesée et métrage.

En résumé, la moyenne prise sur les 10 expériences a donné, sur 6 trains directs, une puissance totale de 294 chevaux pour une charge de voi-

tures de 107 tonnes, et une puissance de 161 chevaux pour les voitures seules marchant à la vitesse moyenne de 45 kilom.

Sur les 4 trains omnibus on a trouvé une puissance totale de 248 chevaux pour remorquer une charge de voitures de 88 tonnes, correspondante à une puissance de 134 chevaux pour les voitures marchant à la vitesse moyenne de $38^k,5$.

Enfin, la consommation moyenne par cheval et par heure, pour les 10 trains, a été en coke de $2^k,05$, en eau de $14^k,16$. Ainsi, pour la puissance, les machines locomotives seraient comparables, dans certaines limites, aux machines de bateaux, et, pour la consommation en coke, elles seraient dans les conditions des meilleures machines fixes.

UN MEMBRE fait observer que, pour les machines fixes, le chiffre habituel de la consommation en combustible s'applique au travail effectif de la vapeur sur l'arbre du volant ou de la manivelle, et non au travail total produit par la vapeur; que si on comptait de cette façon la consommation du combustible dans les machines fixes, la moyenne ordinaire s'abaisserait, et s'éloignerait par conséquent du chiffre indiqué par M. Poirée pour la consommation totale développée par les locomotives.

Ainsi le coefficient de réduction sur la puissance totale d'une machine fixe, mesurée sur l'arbre moteur, est 0,80 du travail développé par la vapeur à la pression sur les pistons; les chiffres de consommation des machines fixes, pour être comparés à ceux des locomotives, devraient être augmentés de 0.20.

Il fait ensuite remarquer combien la dépense d'eau de ces machines a été faible; qu'il a dû y avoir bien peu d'eau entraînée par la vapeur; et, en effet, les machines qui ont servi aux expériences sont des machines mixtes à grand réservoir de vapeur, sortant des ateliers de M. E. Gouin.

Pour ce qui est du coefficient de réduction à appliquer au travail développé par les machines fixes, ce membre estime qu'il doit être plus considérable pour les machines fixes que pour les machines locomotives, où les dimensions sont beaucoup plus faibles que dans les premières.

M. LE CHATELIER partage complétement cet avis, et ajoute que les constructeurs ont exagéré les dimensions des cylindres des machines fixes par rapport à leur puissance; qu'il y a, à cet égard, de nouvelles études à faire, en se basant sur ce qui se passe dans les machines locomotives.

On a tellement exagéré le diamètre des cylindres, dit un membre, que dans certaines machines sans condensation, on a appliqué des reniflards, parce que le diamètre des cylindres et la détente avaient été exagérés.

UN AUTRE MEMBRE appuie sur ces considérations, et conclut en disant que le rapprochement des machines fixes et des machines locomotives doit conduire à l'emploi des machines fixes à grande vitesse.

En résumé, il paraît ressortir du travail de M. Poirée que les locomotives peuvent être assimilées, comme utilisation de puissance et consommation de combustible, aux machines fixes à haute pression et sans condensation.

SÉANCE DU 19 MARS 1852.

Présidence de M. E. Flachat.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre qui lui a été adressée de Londres par M. Mayer, membre de la Société, au sujet de la construction de bateaux à vapeur destinés à transporter à Londres le charbon du littoral de l'est de l'Angleterre.

Ces bateaux seront en fer, à propulseur héliçoïdal, au lieu de roues à palettes. Tout l'appareil mécanique est placé à l'extrémité du bateau, de manière à laisser tout l'avant disponible pour le charbon. Dans cette dernière partie, des capacités sont réservées pour les réservoirs de l'eau qui servira de lest. Une machine à vapeur spéciale placée sur le pont élèvera les charbons, en commençant par ceux qui sont au fond du navire et en travaillant à la manière des puits de mines. De cette façon, les mouvements à bras dans l'intérieur du navire seront facilités. Indépendamment du charbon nécessaire pour le service de la machine, le bateau portera 600 tonnes, mais il est calculé pour en porter 800. De plus, le pont sera très solide et pourra porter deux pièces d'artillerie d'un gros calibre. Enfin, l'on fait valoir qu'en cas de nécessité il pourrait recevoir un équipage de 200 à 250 marins. Le tirant d'eau sera de $3^{m}.50$.

On construit dans ce moment deux bateaux pour essai, mais on a l'intention d'en construire 500.

Il n'y aura ni beaupré ni mâts proprement dits, mais seulement deux mâts pour *lug sails*, ou voiles analogues à celles que l'on emploie dans les barques.

Voici le devis d'un bateau et l'estimation des produits et dépenses d'exploitation.

DEVIS.

Environ 200 tonnes de fer à 200 fr., livraison comprise. .	fr. 40,000
Main-d'œuvre pour 200 kil. de fer à 200 fr., livraison comprise.	40,000
Travaux de charpente et de menuiserie.	7,500
Ancres, câbles et approvisionnements.	12,500
Prix du bateau à la mer.	100,000
Machine de 80 chevaux complète, garantie pour ne pas consommer au-delà de 8 tonnes par 24 heures.	50,000
	150,000

Dépenses de navigation de Hartlepool à Londres et retour, en supposant que le double voyage durera 14 jours :

Salaire au premier pilote avec nourriture. .	50 fr.	»	par voyage.
Second pilote.	37	50	
Mécanicien.	50	»»	
Chauffeur.	37	50	
8 hommes d'équipage à 2 fr. 50 c. . . .	250	»»	
Assurance sur 15,000 fr.	350	»»	
Charbon pour la machine 40 tonnes pouvant durer 5 jours à 6 fr. 85 c. par tonne. . . .	275	»»	
Droits de docks.	112	50	
Manutention à Hartlepool.	250	»»	
Huile, etc. pour les machines.	50	»»	
Imprévu et menus frais.	125	»»	
	1,587	50	

PRODUIT :

Fret de 600 tonnes de charbon à 5 fr. par tonne.	3,000	»»	
Dépenses de navigation à déduire. . . .	1,590	»»	
Bénéfice. . . .	1,410 fr.	»»	par voyage.

Bénéfice par an (24 voyages) 33,800 fr., soit 14 0/0.

On estime que le nombre de voyages sera, en général, de 30 au lieu de 24. Cette affaire est faite par les propriétaires des houillères de Stockton, Hartlepool, Seakam, Sunderland, Newcastle et Blith, qui veulent lutter contre le chemin de fer.

On remarquera qu'ils comptent faire payer 5 fr. par tonne. Le prix moyen de transport en 1850 par des navires ordinaires jaugeant environ 200 à 250 tonnes, et faisant douze voyages par an, a été de 6 fr. 85 c.

Après cette communication, M. le président donne la parole à M. Lorentz pour rendre compte de la discussion qui a eu lieu, à la Société des Ingénieurs civils de Londres, sur un mémoire de M. Adams, relatif à la construction et à l'entretien de la voie des chemins de fer en Europe, et sur les systèmes les plus convenables pour des contrées telles que l'Egypte et l'Inde.

M. ADAMS commence par une analyse des diverses conditions que, suivant lui, doit remplir une voie de chemin de fer. Ces conditions se résument ainsi :

Le sol qui supporte la voie doit être disposé pour un facile écoulement des eaux. La solidité de la voie doit être proportionnelle au poids des machines et à l'importance du trafic.

Les rails doivent être robustes, afin de résister aux efforts de flexion ; durs, pour être à l'abri de l'usure par laminage ; polis, pour donner lieu au moindre frottement possible, et inclinés, dans les courbes principalement, de manière à se prêter au mouvement et à la forme des roues ; enfin, les joints doivent être tels que les rails ne forment, pour ainsi dire, qu'une barre continue, et qu'ils se prêtent cependant à la dilatation et à la contraction.

Le Mémoire énumère ensuite les divers modes de rails mis en pratique jusqu'à présent, depuis les bandes de fer plat ou saillant, employées dans les mines aux premiers temps des chemins de fer, jusqu'au rail symétrique à double champignon, dont l'usage est si général aujourd'hui.

Cette revue est suivie de l'examen des nouveaux systèmes de rails, y compris les rails qui font exclusion de tout support et que l'on peut appeler *rails-longrines*. Le plus connu, parmi ces derniers, est le rail en forme de *selle* de M. William-Henri Barlow. Suivant M. Adams, ce rail doit présenter quelque difficulté au bourrage; il doit être trop rigide, et conséquemment se laminer, s'user au contact des roues des trains; il doit se prêter difficilement à la dilatation et à la contraction, en raison de ce que le joint s'y fait au moyen d'une plaque de section à peu près semblable à celle du rail, plaque sur laquelle ce dernier est rivé; enfin, M. Adams objecte que la force du joint y dépend entièrement de celle des rivets.

M. ADAMS, à son tour, propose divers systèmes de ***rails-longrines :*** l'un d'eux affecte une section en forme de T; en dessus se trouve le rail proprement dit, et à la partie inférieure un appendice vertical qui contribue à maintenir le rail et qui se prête au bourrage.

Ensuite, M. Adams passe à l'examen des divers systèmes de supports de rails. Les motifs qui ont amené l'abandon des dés en pierre sont le défaut d'élasticité, et plus encore, la difficulté et la cherté que présente le bourrage, le relèvement et l'entretien, en raison de la grande profondeur à laquelle ces supports doivent être placés, des entailles qu'il faut pratiquer dans la pierre pour le logement des coussinets et du prompt relâchement des chevilles.

Après avoir traité à fond la question des traverses en bois et insisté sur la nécessité de les envelopper complètement de ballast, M. Adams les compare aux longrines en bois, et conclut que, dans les deux systèmes, le cube de bois est le même pour peu que les surfaces d'appui sur le sol soient égales; la dépense est aussi la même à qualité égale de bois. Le système des longrines donne aux rails une excellente assiette; il est commode pour le bourrage; mais dans ce système, le bois se détériore plus vite et les attaches des rails sont moins efficaces.

M. REYNOLDS, en vue d'augmenter la durée des longrines en bois, a imaginé de les faire reposer dans une sorte de gouttière en fonte, de section triangulaire, le sommet du triangle étant en dessous. Ce procédé n'a point été accueilli très favorablement; et, plus récemment, on a proposé un grand nombre de systèmes qui font exclusion complète du bois, et dont quelques uns ont été appliqués avec succès.

M. GREAVES, de Manchester, a inventé un support en fonte, en forme de cloche ou calotte sphérique : le bourrage s'y fait, par le dessus, à travers deux petits orifices. Ce système est, dit-on, sur le point d'être adopté pour le chemin d'Egypte.

Dans le système de M. Peter William Barlow, le rail est exactement enserré, sans aide de coins, entre les mâchoires ou joues de coussinets venus de fonte sur un long plateau de 1 mètre de longueur (1).

---

(1) Ces plateaux, qui portent deux ou trois coussinets, sont en deux parties, reliées par des boulons horizontaux. L'un de nos habiles fondeurs de coussinets, M. Hamoir,

Suivant M. Adams, ce système offre trop de rigidité; M. William Henri Barlow l'a amendé en faisant venir de fonte sur un plateau des coussinets où le rail est fixé par des coins en bois.

M. SAMUEL a proposé de placer le rail dans une sorte de support ou coussinet en bois comprimé, embrassé lui-même par un sabot ou auge en fonte, très long, quoique discontinu.

M. HOBY a modifié le système précédent en remplaçant l'auge par un coussinet de forme ordinaire, mais très allongé; le rail est serré à chacune des extrémités dudit coussinet par deux coins.

M. ADAMS, après avoir examiné ou proposé divers autres systèmes de supports, conclut que la fonte peut être d'un bon usage, mais sous condition d'être employée en grande masse et de former un support continu, à moins toutefois que les rails ne soient assez résistants pour se maintenir par eux-mêmes sans fléchissement.

Examinant ensuite la question des attaches, M. Adams attribue la défaveur qui s'est, pendant quelque temps, attachée aux chevilles en bois, à leur manque de force à l'origine; les chevillettes en fer qui leur ont été substituées n'ont pas tardé à se voir remplacées à leur tour par de fortes chevilles en bois. Dans quelques chemins, on fait usage de bois comprimé suivant la méthode de MM. Ransomme et May, qui, comme on sait, sont les auteurs d'une forme particulière de coussinets.

La dernière question à traiter, c'est l'intime connexion qu'il convient d'établir entre deux rails consécutifs, de manière à ce qu'ils ne forment, pour ainsi dire, qu'un seul rail; cette question est d'une importance d'autant plus grande que la plus forte partie, soit des frais d'entretien, soit des accidents, provient de l'imperfection du joint.

Sur le Blackwal-Railway, on avait, antérieurement à l'emploi des machines locomotives sur cette ligne, assemblé l'une dans l'autre les extrémités des deux rails consécutifs; cette méthode affaiblissait les rails et réduisait leur longueur.

Plus récemment, on a imaginé d'appliquer au joint de chaque côté de la tige des rails une plate-bande ou platine d'abord en fonte, ensuite en fer; plus tard, on a évidé les platines de manière qu'elles ne portassent plus que haut et bas contre les champignons. A l'origine, les extrémités des platines reposaient dans les deux coussinets intermédiaires voisins qui étaient rapprochés à cet effet; mais depuis on a imaginé de fixer les platines aux rails, au moyen de boulons dont le passage au travers des rails est d'un diamètre plus fort que nécessaire, de manière à permettre la dilatation; enfin, au lieu de laisser ce joint suspendu entre deux coussinets intermédiaires, on s'est avisé de le supporter par un coussinet spécial.

---

de Maubeuge, a modifié ce système en faisant le plateau d'une pièce, et en se bornant à mobiliser l'une des joues de chacun des coussinets : l'une des extrémités de cette joue mobile s'applique contre le rail et le maintient, l'autre s'arcboute contre la partie fixe du coussinet; enfin la joue mobile est maintenue par un boulon vertical qui travaille peu, et n'a point, comme ceux du système Peter Barlow, à subir d'efforts transversaux de rupture ou de torsion.

M. SAMUEL, pour diminuer le prix de cette dernière modification, a proposé, en 1849, de fondre des coussinets à une seule joue; cette joue s'applique contre un des côtés des rails et forme platine au côté opposé des rails; on *rapporte* une platine mobile.

En Égypte, la sécheresse brûlante de l'atmosphère est pernicieuse pour le bois; le sol y est d'ailleurs tantôt à l'état de poussière, tantôt à celui de terre détrempée. Dans ces conditions, si l'on emploie des supports discontinus, il devient nécessaire de les fondre aussi parfaitement que possible.

Dans les basses régions de l'Inde, le bois est soumis à deux causes de destruction : les inondations de la saison pluvieuse et les ravages du thermite (fourmi blanche); il est vrai qu'en créosotant le bois, l'on peut échapper à cette dernière cause de destruction; mais le bois ainsi préparé présente l'inconvénient de se consumer facilement, en temps de sécheresse, sous l'action soit du soleil, soit du coke incandescent.

Dans les deux contrées que l'on vient de mentionner, ainsi que dans les colonies australiennes, il est opportun, en l'absence d'une police suffisante, de repousser les systèmes de voies qui donneraient prise à la malveillance et aux vols. La voie y doit donc être composée du plus petit nombre possible d'éléments; et ces éléments doivent, pour être assemblés, ne requérir que la plus faible somme possible de main d'œuvre, car elle y est chère. Toutes ces circonstances pesées, M. Adams est d'avis que, pour les contrées en question, où la température est très variable du jour à la nuit, le meilleur système, et, en fin de compte, le moins cher, est un *rail-longrine* tout en fer, simple dans ses dispositions et profondément enfoui dans le ballast.

Deux séances de la Société des Ingénieurs civils de Londres ont été consacrées à la discussion du mémoire de M. Adams.

Tous les membres qui ont pris la parole ont reconnu qu'il était extrêmement important de réduire les frais d'entretien qui résultent des dispositions actuellement usitées pour la voie des chemins de fer, et ils ont examiné les diverses modifications réalisées dans ce but.

Voici, parmi les nouveaux systèmes, ceux qui ont paru obtenir l'approbation la plus générale;

Le long coussinet de M. Fowler; les joints avec platine ou plates-bandes de MM. Adams et Richardson; les coussinets à une seule joue formant platine, de M. Samuel; les coussinets-plateaux en fonte de M. Peter William Barlow; les rails creux, à large embase, et se servant à eux-mêmes de support, de M. William Henri Barlow.

Chacun de ces systèmes présente quelque avantage particulier; mais on a paru admettre que, les forges étant actuellement pourvues d'une puissance motrice assez considérable pour laminer des rails pesants avec plus de facilité et moins de dépense qu'anciennement, le rail creux de M. Barlow était, de tous les systèmes, celui qui réunissait le plus grand nombre d'avantages combinés.

On a contesté la prétendue rigidité attribuée aux voies qui font exclusion des supports en bois; on a établi que la destruction de la voie et la dépense de l'entretien étaient singulièrement réduites par la fixité des joints; on a encore établi qu'il n'était point nécessaire de prendre des précautions contre les effets de dilatation et de contraction de grandes longueurs de rails rivés

entre eux et enfouis dans le sable, ces effets ne s'étant point fait sentir en pratique (1).

Dès l'année 1838, on a importé en Angleterre, venant d'Allemagne, des rails percés d'un trou à chaque extrémité; l'opinion générale de l'assemblée a paru être que ces trous étaient destinés, non pas à fixer des platines contre les tiges des rails, mais au passage de chevilles propres à retenir les rails au fond des coussinets de joint; depuis un petit nombre d'années toutefois, l'usage des joints avec platine s'est répandu avec plein succès en Allemagne.

La discussion a porté ensuite sur les divers *rails-longrines*, sur les supports creux, sur l'accouplement de la pierre et du bois, et autres systèmes proposés par M. Adams. Cette accumulation de projets de toutes natures a été censurée comme n'étant propre qu'à retarder l'adoption des améliorations dues à des ingénieurs pratiques.

En ce qui concerne les rails de systèmes plus ou moins complexes ou compliqués, on a objecté qu'ils étaient moins solides de leur nature, et d'un renouvellement plus coûteux que le rail Barlow, qui offre cet avantage qu'étant exfolié à sa surface, on peut le faire repasser au laminoir pour un prix inférieur à 50 fr. par tonne ; quant aux autres modifications proposées par M. Adams, elles ont été jugées peu utiles. Avec l'expérience acquise, de bons matériaux, du soin dans leur pose et leur entretien, il n'est pas impossible d'obtenir une bonne voie sans sortir des systèmes actuellement usités, et, parmi ces systèmes, on a admis qu'un des meilleurs, si ce n'est le meilleur, c'est un fort *bridge-rail* (rail-Brunel), solidement attaché à une forte longrine en bois, celle-ci étant bien enveloppée de sable de carrière, et préservée de l'humidité par de bonnes dispositions pour l'écoulement des eaux.

Relativement aux pays étrangers, on a objecté au mémoire de M. Adams que, sous presque tous les climats tropicaux, il existait des essences de bois de nature à résister aux attaques du thermite. Il est probable toutefois que, dans ces contrées, l'emploi de rails creux à large base, quoique plus coûteux de premier établissement, serait en définitive le plus économique.

Sur la question des chemins à dés en pierre, on a avancé que plusieurs de ces lignes se comportaient bien et étaient peu coûteuses d'entretien, quoique le trafic y fût considérable; il est vrai que la vitesse n'y est que de 16 à 20 kilomètres par heure ; par contre, les grandes vitesses amènent promptement la détérioration de ce genre de voies.

En ce qui concerne les coussinets-plateaux en fonte, établis sur le *South Eastern* (2), on a établi incidemment qu'ils ne présentaient pas plus de casse que les coussinets ordinaires, quoiqu'ils aient été placés sur une partie de la ligne chargée de trafic et pourvue d'un mauvais ballast; ce qui le prouve suffisamment, c'est l'offre de M. l'entrepreneur Taylor, d'entretenir et renouveler cette portion du chemin pendant 21 ans, à raison de 2,500 fr. par an.

---

(1) C'est M. Brunel qui s'est chargé de réfuter les objections produites par M. Adams contre le rail Barlow, en ce qui concerne la prétendue difficulté de bourrage. Il a affirmé, d'après une expérience de deux années, que ce rail se bourrait aussi promptement que les rails ordinaires.

(2) C'est le système ci-dessus mentionné par M. Peter Barlow.

Le choix à faire entre les divers systèmes dépend d'une infinité de circonstances locales. Ainsi, quand le fer est à bas prix et le bois cher ou peu durable, il peut être très avantageux d'adopter le système des coussinets-plateaux ou des rails se servant à eux-mêmes de support; il n'en serait plus de même dans les contrées où il y aurait obligation de tirer le fer de l'étranger et où le bois serait abondant et résistant; dans ces conditions, c'est le système des longrines, avec rails légers, qui serait préférable.

Au reste, la question de l'entretien comparé des voies de divers systèmes est, jusqu'à présent, presque insoluble; la qualité des matériaux, leur poids, la vitesse du train, le poids et le nombre des convois, les soins donnés à la construction et à l'entretien, toutes choses variables d'une ligne à l'autre, rendent réellement peu comparables les résultats que présentent les comptes-rendus des diverses exploitations, et peu sérieuses les conséquences qu'on en pourrait tirer.

UN MEMBRE ne pense pas que la voie à rail-Barlow soit plus économique de pose que la voie actuelle avec rails, traverses et coussinets.

UN AUTRE MEMBRE dit que M. Le Châtelier, dans une application qu'il en a faite, l'a trouvée plus élevée; mais que, quant à lui, il est arrivé à ce résultat qu'en France, pour que la voie Barlow ne coûtât pas plus que la voie ordinaire, il faudrait que ces rails ne coûtassent pas plus de 320 fr. la tonne.

Il ajoute que les rails actuels ne s'usent pour ainsi dire pas, mais qu'ils se détruisent par les effets de l'instabilité de la voie, par suite du relâchement dans les assemblages et de la mobilité de tous les éléments.

Le rail-Barlow a cet avantage que, pour une longueur de voie de 6 mètres, en tenant compte des rivets d'assemblage des entretoises, il n'a que 10 pièces, tandis que la voie avec rail ordinaire, chevilles, traverses, coins, coussinets, en a 54 sur la même longueur. Le reproche de manque d'élasticité fait au rail-Barlow n'est pas exact d'une manière absolue, car la traverse ne contribue pas seule à donner à la voie ordinaire l'élasticité qu'elle a; la nature du ballast y est pour beaucoup; si donc la voie actuelle emprunte de son élasticité à la nature du ballast, la voie Barlow en empruntera également.

UN MEMBRE fait observer que le rail-Barlow n'est pas suspendu comme le rail sur traverses; qu'ainsi il doit être moins élastique.

UN AUTRE MEMBRE pense que le rail-Barlow exclut le ballast en pierres concassées, et souvent cependant on n'en a pas d'autre à employer.

UN AUTRE MEMBRE regarde l'intermédiaire du bois comme appui d'un excellent usage, et il cite à cet égard les bons résultats obtenus par MM. Clément Desormes et Verpilleux, qui fixent les bandages de roues motrices sur les jantes avec des coins en bois.

On fait observer que le rail-Barlow n'exclut pas l'emploi des traverses en bois; que M. Barlow les a même employées à l'origine; mais il a été conduit à les abandonner.

UN MEMBRE répond que cependant le rail-Barlow n'est pas fait pour être employé ainsi; sa forme n'est pas celle de plus grande résistance; que, si le rail-Barlow devait être posé comme rail ordinaire, on le placerait dans de mauvaises conditions. Les rails qui doivent être posés sur longrines sont

moins lourds que les autres, puisqu'ils sont soutenus sous toute leur longueur.

Des observations faites en Angleterre sur une voie Barlow ont indiqué que les trains, lors de leur passage, produisent un bruit sourd qui n'a rien de désagréable et qui indique une absence de trépidation, ce qui semble dénoter de l'élasticité.

UN MEMBRE pense que l'appui continu du rail-Barlow doit lui donner une grande stabilité, et que sa forme *en selle* lui donne toute l'élasticité désirable.

UN AUTRE MEMBRE dit que la forme du rail-Barlow doit exiger du fer de très bonne qualité et très homogène ; que, par conséquent, il doit durer plus long-temps que le rail actuel.

UN AUTRE MEMBRE appuie sur ce point, que les Compagnies devraient demander aux forges du fer de meilleure qualité que celui qu'elles emploient pour les rails, et rejeter les fers à deux qualités, qui se soudent toujours mal ; ce qui a encore lieu pour les rails a été cependant condamné pour la fabrication des bandages, où les deux qualités de fer ont été abandonnées complétement.

UN MEMBRE dit que la qualité a adopter pour les rails est une question complexe ; qu'on ne peut préciser celle qui convient ; il répète que l'usure des rails est peu de chose à côté des avaries qu'ils éprouvent, et qui tiennent surtout à leur pose, à leur défaut de fixité sur les traverses et les coussinets. Il pense cependant qu'un rail en fer homogène et même doux est préférable à un rail en fer dur et cassant, qui se dessoude et s'exfolie. Les avaries qui proviennent de l'emploi de deux qualités de fer sont les plus considérables dans la destruction des rails.

UN MEMBRE demande pourquoi, dans la voie Barlow, on n'a pas tenu compte de la dilatation, les rails étant rivés sur les traverses, et à leur jonction, sur une espèce de couvre-joint qui fait une seule pièce de la voie, quelle que soit sa longueur.

UN MEMBRE répond que M. Barlow s'était préoccupé de cette question, et qu'à l'origine, tous les 100 mètres, il avait relié les rails au moyen de boulons traversant des trous ovales ; que, la dilatation n'ayant été remarquée sur cette distance que de 3 à 4 millimètres, il a fini par supprimer les boulons et les a remplacés par des rivets. Ces faits se sont passés en Angleterre ; peut-être n'en serait-il pas de même en France, ou dans tout autre endroit plus au midi que l'Angleterre.

Dans une pièce aussi rigide, la dilatation devant nécessairement se reproduire, les effets doivent produire un soulèvement ou un affaissement de la voie.

UN AUTRE MEMBRE pense que l'enfouissement du rail-Barlow dans le ballast s'oppose à son échauffement, mais que cet effet de la dilatation se manifeste parfaitement dans les voies où l'on n'a pas laissé assez de jeu entre les rails ; ainsi, on a vu des voies soulevées par l'effet de la chaleur. Ces exemples se sont produits au chemin de fer de Saint-Germain, à celui de Saint-Étienne, à celui de Corbeil.

Après ces observations, M. le président donne la parole à M. Pottier, pour achever la lecture de son mémoire sur le chauffage de l'église St-Roch.

L'AUTEUR du mémoire, après avoir rappelé en peu de mots les différents points qu'il a traités dans les parties précédentes, termine la lecture de son mémoire.

Il explique les mouvements de l'air dans l'église de la manière suivante : il constate que l'air entre dans le vaisseau, non seulement par les bouches de chaleur, mais aussi par des ouvertures accidentellement pratiquées dans le voisinage du sol. Il y a donc appel de l'air extérieur dans la partie inférieure de l'édifice. Comme, d'autre part, la température est très uniformément répartie, puisqu'elle ne varie pas de plus de un degré de la base au sommet, il en conclut que l'air monte et se répand très uniformément, forcé de suinter de toutes parts à travers les innombrables fissures du vitrage ; et, bien que la somme de ces fissures s'élève à 14 mètres carrés, le chauffage n'est pas moins possible, et même économique, à cause de l'étroitesse de ces fissures qui contracte les veines d'air de manière à en ralentir énormément la vitesse.

L'AUTEUR indique ensuite un moyen simple d'arriver à connaître, par la lecture d'un seul thermomètre, la température moyenne d'un vaste édifice.

Il termine en donnant les chiffres du prix d'établissement et d'entretien du calorifère de Saint-Roch, ainsi que la consommation de combustible pour les hivers précédents.

UN MEMBRE dit que depuis l'installation de ce chauffage on l'a beaucoup amélioré en chauffant la nuit, alors que tout est fermé dans l'église, et où, par conséquent, il n'y a pas de déperdition de chaleur ; ainsi, maintenant qu'on chauffe la nuit depuis huit heures du soir jusqu'à six heures du matin, la consommation de combustible a été de 450 kilog. de charbon par jour, et la température ne varie que de 10 à 14°.

UN MEMBRE demande si le chauffage par la vapeur n'est pas préférable à celui à eau chaude ; il demande aussi à quel principe il faut donner la préférence, ou bien élever de grandes quantités d'air à une faible température, ou bien de petites quantités d'air à une haute température.

On répond que l'eau chaude permet une plus grande régularité, et que le premier principe est préférable. Dans certains chauffages, on donne aux conduits une grande section, par conséquent une faible vitesse à l'air échauffé ; on ne chauffe jamais l'air à plus de 50°, la température extérieure étant à 5°.

UN MEMBRE dit qu'il préfère le chauffage par calorifère à air chaud à celui à eau chaude ; il dit que la dépense d'établissement diffère du simple au double ; il pense également qu'il vaut mieux chauffer l'air qui se trouve dans un vaste local et le lui rendre que d'y envoyer de l'air chaud venant de l'extérieur. Il critique les conclusions du mémoire où il est dit que la dépense de combustible est proportionnelle à la surface totale des vitres et des murs. Suivant lui, l'auteur du mémoire a oublié de tenir compte de l'air emporté par la ventilation.

L'AUTEUR répond que ses conclusions ne se rapportent pas à toute espèce de chauffage et d'établissement ; que le coefficient qu'il a donné ne doit être appliqué que dans des cas semblables à celui qu'il a traité.

UN AUTRE MEMBRE résume les trois systèmes de chauffage en présence aujourd'hui :

1° Le chauffage à air chaud ;
2° Celui à eau chaude ;
3° Celui à la vapeur.

L'air exige, dit-il, des espaces trop vastes pour y être placé, en outre, l'air, par son passage sur les conduits en fonte rougie, se brûle et prend une odeur désagréable ; enfin, les causes d'incendie sont fréquentes ; la négligence des employés suffit à les causer.

Le succès des appareils à eau chaude tient plus à la crainte qu'inspirent les appareils à vapeur et à pression, qu'au mérite même de ce système, qui a aussi ses inconvénients. Ainsi, avec l'eau chaude, si une fuite vient à se déclarer, il est impossible d'y remédier ; l'eau bouillante se répand partout et peut causer de graves accidents, tandis que, dans les calorifères à vapeur, il n'y a qu'un robinet à tourner pour isoler complétement les appareils des conduits.

Un autre inconvénient de l'eau chaude, c'est de ne pouvoir être portée loin ; ensuite, c'est l'irrégularité de la température qu'elle donne, et la lenteur de la transmission de la chaleur. A Saint-Roch, par exemple, il faut trois jours de chauffage pour relever la température de 4 à 5°.

Quant au système à vapeur, il a tous les avantages du chauffage à eau chaude sans en avoir les inconvénients, surtout si on adopte, comme l'a très ingénieusement fait M. Grouvelle, des poêles ou bâches contenant de l'eau, et dans lesquels on fait arriver la vapeur par un tuyau de dérivation sur la conduite principale.

Ces poêles sont placés dans les chambres mêmes où l'on veut entretenir une température régulière ; ce système mixte est très bon.

La vapeur peut être portée à toute distance, à 200 mètres, sans perdre beaucoup de sa température ; il n'en est pas de même de l'eau chaude. Et puis, comme à toute question de chauffage vient se joindre celle de la ventilation, on peut profiter de la vapeur pour faire marcher une machine qui elle-même fait mouvoir un ventilateur.

Ceci n'est dit que pour les grands établissements où cette dépense vaut la peine d'être faite, ou bien là où il y a déjà une force motrice qui fait marcher un atelier, une usine, etc.

L'AUTEUR du Mémoire fait observer que la ventilation n'est pas toujours nécessaire en même temps que le chauffage ; elle n'est pas employée dans les églises.

UN MEMBRE cite, à propos des inconvénients du chauffage par eau chaude, un commencement d'incendie qui a eu lieu au chemin de fer d'Orléans avec ce genre de calorifère ; en outre, ce genre de chauffage donnait un air qui n'était pas respirable.

UN AUTRE MEMBRE répond que ce calorifère était du genre des calorifères Perkins ; qu'on l'avait mal établi et sans ventilation. Il revient sur la question du chauffage à air chaud, et il dit qu'il l'a appliqué dans de grands établissements : à l'Opéra-Comique, où il y a sept appareils distribués dans le bâtiment ; au ministère de la guerre, où l'air, échauffé par les précautions qui ont été prises, n'a pas cette odeur de brûlé si insupportable à respirer. Ces précautions consistent à empêcher la fonte de rougir en la revêtant de briques ou d'argile.

Pour le chauffage à eau chaude, il cite le chemin de fer de Strasbourg, où l'eau circule et va jusqu'à 70 mètres de son point de départ sans qu'on remarque de grandes variations de température.

Il estime que le genre de calorifère à eau chaude est très bon là où la température doit être uniforme et continue.

Pour les établissements qui n'ont besoin d'être chauffés qu'une fois ou deux par semaine, les calorifères à air chaud sont préférables.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. José Gil y Montana, directeur du chemin de fer de Barcelone à Mataro, relative à l'emploi des systèmes de traverses en fonte de M. Greaves, adoptées en Angleterre, et principalement pour les pays méridionaux, en Egypte, par exemple, par M. Stephenson ; et au Brésil, par M. Hankshaw.

Les rails peuvent être des rails à champignons ou des rails-Brunel, mais les traverses en bois sont remplacées par un coussinet portant une calotte sphérique creuse en fonte.

Le coussinet est semblable aux coussinets ordinaires. Ces calottes creuses ont $0^{m}.55$ de diamètre à la base et de 8 à 10^{mm} d'épaisseur ; le rayon de la sphère à laquelle elles appartiennent est de $0^{m}.31$. Elles sont reliées de distance en distance par des boulons en fer afin de maintenir l'écartement de la voie.

Les coussinets ainsi faits pèsent 40 kil., ceux intermédiaires 30 kil.

M. MONTANA joint à sa lettre copie de trois lettres de MM. Stephenson, Hankshaw et Drane, qu'il a consultés sur le meilleur système de voie à adopter dans les pays méridionaux.

M. STEPHENSON dit que l'expérimentation encore insuffisante du rail-Barlow, dont l'invention est récente, l'a conduit à adopter sans hésiter le système Greaves pour le chemin de Suez (Egypte), dont il est chargé ; il a fait commande de 14,000 tonnes de ces coussinets, dont la majeure partie est déjà expédiée.

M. HANKSHAW préfère le système Greaves partout où le ballast est du sable ou du petit gravier ; il l'a déjà employé avec avantage depuis quatre ans sur les chemins du Lancashire et du Yorkshire.

La lettre de M. DRANE, ingénieur du chemin de Greenwich, est écrite dans le même sens.

Le prix d'établissement de la voie Greaves, comparé à celui de la voie ordinaire avec traverse, lui est supérieur de 10 0/0 environ ; mais cette augmentation doit trouver sa compensation dans les frais d'entretien.

L'emploi du système Greaves a, sur celui des traverses, l'avantage d'être

plus solide et plus durable ; sur celui des dés en pierre, d'être plus simple et plus stable ; sur celui des plateaux en fonte, d'être plus stable et d'un bourrage plus facile. Il a sur ce dernier système le mérite de rendre le coussinet dépendant d'une manière absolue de l'appui sur le sol. Les voies se détruisent habituellement par le relâchement des attaches des coussinets sur les points d'appui.

M. POLONCEAU a ensuite la parole pour communiquer une note relative aux causes qui peuvent amener la rupture des essieux de wagons.

Détérioration des essieux des véhicules des chemins de fer.

Le gouvernement s'occupe aujourd'hui de savoir si, par le travail, les essieux des véhicules qui roulent sur les chemins de fer subissent une détérioration qui, au bout d'un certain temps, en rend l'usage moins sûr, et s'il y a lieu de prescrire leur changement après un parcours donné.

Il est donc de quelque intérêt de saisir la *Société des Ingénieurs civils* de la question, en lui apportant le résultat d'observations nombreuses qui ont été faites sur divers chemins de fer.

Sur le chemin de fer de Strasbourg à Bâle, après trois années environ d'exploitation, plusieurs essieux se sont rompus pendant la marche des trains. Ces accidents sont devenus de plus en plus fréquents, et sont bientôt arrivés à un certain nombre pendant le même mois.

Tous se rompaient au même endroit, c'est-à-dire dans le plan de la face intérieure du moyeu de la roue.

En cet endroit les essieux présentaient une diminution brusque de forme, soit à angle vif, soit en congé, et la rupture se produisait avec l'une ou l'autre de ces formes.

L'aspect de la cassure était invariablement le même. Près de la circonférence elle était teintée de rouille foncée indiquant une fente ancienne ; la teinte se dégradait jusqu'à disparaître en approchant d'un cercle central plus ou moins grand qui avait l'aspect d'une cassure fraîche.

La texture et l'aspect du cercle récemment rompu étaient identiquement les mêmes que ceux du corps de l'essieu et même des fusées. En dehors de ce cercle, qui présentait tous les caractères d'une barre de fer neuf que l'on brise, la couronne, atteinte par la rouille et paraissant une rupture plus ancienne, présentait une surface complétement plane, sans aucune trace d'arrachement, et d'un grain fin et uni, semblable à celle d'une barre d'acier fondu.

Enfin le cercle, conservant la texture naturelle du fer de l'essieu, présentait une particularité singulière : il était toujours excentrique et invariablement tangent à la clavette de calage de la roue sur l'essieu.

Sur un grand nombre d'essieux en service que l'on a fait rompre sous le mouton, tous sans exception présentaient des traces de la même détérioration, à un degré plus ou moins avancé.

Un fait remarquable, c'est que l'aspect de la couronne enveloppant la partie fraîchement cassée était toujours le même, à grain fin et uni, quelle que soit la nature du fer de l'essieu, qu'il soit à nerf, à grain fin ou à gros

grain cristallisé, tandis que le cercle de cassure récente présentait des arrachements et tous les caractères propres du fer avec lequel la pièce avait été faite.

De l'aspect de cette cassure on peut conclure, d'une manière certaine, que le fer n'a pas subi par le travail une transformation dans sa structure, puisque la partie brute, au moment de la rupture, conservait toutes ses propriétés, et que, soit dans la fusée, soit dans le corps de l'essieu, soit enfin très près du point de rupture, la cassure même du côté de la couronne de rupture ancienne, et près de la circonférence, le fer avait conservé toutes ses propriétés.

La fente qui se produit de la circonférence vers le centre ne semble s'expliquer que par une rupture successive des fibres du fer, par une séparation moléculaire qui s'opère graduellement par suite de l'extension et de la compression successives et répétées de ces fibres à chaque flexion en sens contraire que subit l'essieu :

1° Par suite de la charge portant sur les fusées en dehors des roues qui servent de point d'appui, combinée avec le mouvement de rotation de l'essieu, qui, à chaque demi-tour de roue, produit une flexion en sens contraire ;

2° Par l'action du rebord des roues sur les rails. Aux faits qui viennent d'être décrits si l'on ajoute que des essieux qui marchaient encore ont été retirés du service sans s'être rompus, quoiqu'ils fussent réduits à près de moitié de leur section primitive, on doit conclure que ce n'est pas par insuffisance de résistance que les essieux en question se sont rompus, mais bien par un travail successif d'allongement et de compression des fibres du fer qui dépassait la limite très restreinte au dessus de laquelle ce métal perd sa cohésion par un travail répété et après un long temps.

L'amplitude des extensions ou des compressions que le fer peut subir impunément est une question qu'il serait du plus haut intérêt de déterminer par des expériences spéciales.

On pourrait peut-être demander si cette altération ne proviendrait pas de quelques unes des causes autres que l'extension et la compression des fibres du fer parmi les actions si nombreuses que subit un essieu de wagon ou de machine ; mais ces ruptures se produisent également et de la même manière dans d'autres cas.

Ainsi, l'auteur de la note dit qu'il a eu l'occasion d'observer le même phénomène dans un arbre de transmission d'atelier qui avait des dimensions beaucoup plus fortes que celles reconnues nécessaires et généralement admises pour le travail qu'il avait à effectuer et qui, porté par des supports qui avaient tassé et le forçaient à fléchir en sens inverse à chaque demi-tour, s'est rompu et est tombé.

Enfin la rupture ayant toujours lieu, soit dans les essieux droits, soit dans les essieux coudés au point de plus grande extension et de plus grande compression des fibres, c'est-à-dire pour les premiers, dans le plan de la face intérieure du moyeu et pour les seconds à la rencontre du tourillon de la bielle avec le bras formant manivelle, on peut en conclure que c'est cette cause qui amène la rupture.

Un fait pour lequel les observations faites jusqu'ici ne fournissent pas d'explication aussi certaine, c'est l'excentricité du cercle conservé, sa tan-

gence à l'entaille de la clavette et l'absence totale d'altération du côté de cette entaille.

L'adhérence de la clavette par le frottement et l'uniformité de dimension que produit cette entaille peuvent donner lieu à une répartition de l'extension des fibres sur une plus grande longueur ; mais ces causes si faibles sont-elles suffisantes pour expliquer d'une manière satisfaisante le phénomène en question ? C'est, jusqu'ici, ce qui ne paraît pas certain.

Sur un autre chemin de fer, des essieux retirés du service pour défaut de force et de forme ont été examinés et rompus. Ils avaient fait au moins autant de parcours que ceux des chemins de fer d'Alsace et avaient la même forme et les mêmes dimensions. Néanmoins, et contrairement à ce qui avait été observé sur le premier chemin, une certaine quantité de ces essieux ne présentait aucune trace de commencement de rupture, d'autres n'offraient que des traces excessivement légères. Ces essieux étaient en fer puddlé de qualité ordinaire ; ce fer, à nerf court et foncé entremêlé de grains, comme du fer de cette nature, était mou et d'une structure lâche, assez imparfaitement soudé. Sur la même ligne, des essieux en fer dur au bois, à grain, de bonne qualité, se sont rompus en service et présentaient, quoique plus forts que les précédents, des traces de rupture analogues à celles décrites précédemment.

Il paraîtrait, d'après ces dernières observations, que les fers doux et d'un tissu lâche seraient plus favorables pour un long service que ceux en fer dur et serré. Ce fait s'explique, du reste, par l'extension que doivent subir les fibres dans les flexions dans les deux cas : plus la matière est poreuse et compressible, moins les fibres s'étendent pour une flexion donnée à égalité de diamètre. C'est cette raison qui fait mettre des âmes en chanvre dans les câbles en fil de fer soumis à des flexions, et qui fait qu'une corde molle résistera mieux à un ployage à angle vif qu'une corde très serrée et très dure.

De tout ceci on peut donc conclure :

Qu'il faut donner aux essieux une dimension sensiblement plus forte que celle calculée pour les efforts qu'ils ont à subir d'après les données qui servent aux cas ordinaires de la mécanique ;

Que l'on doit éviter avec soin de faire des diminutions brusques de diamètre pour les portées de calage des roues, une saillie d'un millimètre suffisant pour empêcher la roue de rentrer en cas de décalage ;

Que les portées de calage doivent être plus fortes que le corps de l'essieu, et que le diamètre doit diminuer graduellement depuis un peu au delà du plan de calage de la roue, jusqu'au milieu de l'essieu, de manière à présenter un solide d'égale résistance ;

Qu'il serait peut-être convenable de mettre trois clavettes au lieu d'une, ce qui a été fait du reste au chemin de fer d'Alsace lorsqu'on a renouvelé les essieux en 1843 ;

Enfin que des études très sérieuses seraient à faire pour savoir quel est le fer qui convient le mieux pour résister au genre de travail spécial qu'ont à supporter les essieux et qui ne paraît pas être celui qui est le plus estimé dans le commerce par les constructeurs, et qui est le plus cher.

Quant à la vérification des essieux en service, les fissures ne peuvent pas

être aperçues à froid, même en décalant la roue. Pour savoir si elles existent, il conviendrait de prendre quelques essieux de chaque série (ceux qui ont le plus marché), puis de porter au rouge cerise la partie où doit se produire la fissure, ce qui la rend apparente à cette température.

On pourrait aussi et plus simplement huiler pendant quelques jours en tiédissant l'essieu, puis ensuite le bien nettoyer et chauffer, ce qui fait ressortir l'huile s'il y a une fissure.

M. LE CHATELIER, ingénieur en chef des mines, a la parole. Il pense que l'enquête que le gouvernement veut faire sur la question d'altération des essieux est sans parti arrêté ; son but est de recueillir seulement les observations faites jusqu'à ce jour.

Il partage du reste l'opinion de l'auteur de la note sur la question, et à l'appui il cite un article qu'il écrivait en 1846 sur ce sujet, et où il se trouve d'accord avec les idées qui viennent d'être émises. Il y avait été conduit par les résultats obtenus par le même ingénieur au chemin de fer de l'Alsace et par quelques essais qu'il avait faits avec l'ingénieur du chemin de fer de la rive gauche.

Tous les essieux qu'ils ont essayés ont pu être classés en deux catégories : 1° ceux de mauvaise qualité, qui n'avaient fourni qu'un faible parcours ; 2° ceux de bonne qualité, qui en avaient fait de longs.

Les cassures des premiers étaient toutes franches avec gros grains à facettes ; celles des seconds n'avaient pu avoir lieu qu'à la suite de plusieurs chocs et présentaient des déchirures.

Quand les essieux sont de bonne qualité et que leur profil est bien dessiné, ils cassent très peu ; ainsi au chemin du Nord on compte huit mille essieux ayant parcouru 200,000 kilomètres sans qu'il se soit présenté une seule cassure ; il n'y a donc pas de limite à assigner à la durée des essieux.

Les cassures, ainsi que l'a fait remarquer l'auteur de la note, ont toujours lieu au collet, et cependant il arrive souvent que la roue ne porte pas contre lui ; ceci ne peut tenir qu'aux efforts de torsion transmis par la roue à la portée de calage, et qui agissent en ce point par suite de la différence des diamètres.

UN MEMBRE demande si l'on a observé que le fer des essieux passât de la texture fibreuse à la texture lamelleuse à la suite des chocs auxquels ils sont soumis.

M. LE CHATELIER nie complètement l'existence de ce fait. Quand un essieu casse, c'est parce que sa qualité est mauvaise, parce que son grain est gros. Sa texture est grenue non seulement à l'endroit de sa cassure, mais dans tout autre point.

L'auteur de la note attribue beaucoup la cassure des essieux à la disposition de la portée de calage et à la façon dont elle se raccorde avec le corps de l'essieu ; la forme cylindrique ou en décroissance continue jusqu'au milieu est la meilleure. Tout épaulement brusque à angle droit ou arrondi est mauvais.

UN MEMBRE a observé, sur le matériel du chemin de Lille à la frontière de Belgique en 1845, des cassures analogues à celles observées par l'auteur de la note sur les chemins d'Alsace ; les profils de ces essieux étaient au reste à peu près semblables. Le raccordement de la portée de calage avec le corps

de l'essieu se faisait par un bourrelet. Aujourd'hui les essieux du chemin de fer du Nord ne présentent presque plus de différence de diamètre entre le corps de l'essieu et la portée de calage ; il y a cependant une sur-épaisseur sur le corps de l'essieu à dix millimètres environ du moyeu de la roue pour l'empêcher de s'échapper dans le cas où la clavette de calage sortirait.

UN AUTRE MEMBRE propose, pour remédier à la cassure des essieux, de multiplier le nombre des clavettes et de le porter à trois.

M. PHILIPPS, ingénieur des mines, pense que les ruptures tiennent plus à l'intensité des efforts de torsion qu'à ceux de flexion.

M. LE CHATELIER objecte à cette assertion que les essieux de messageries cassent également et qu'ils ne sont pas soumis à des efforts de torsion puisque les roues sont libres sur les essieux.

M. LE PRÉSIDENT ramène la discussion à son point de départ; il dit que la question est de rechercher s'il existe des causes et des preuves d'altération du fer par le travail auquel il est soumis ; qu'il est admis dans l'artillerie qu'une pièce de canon est mise au rebut après un certain nombre de coups tirés; que dans la marine il en est de même des câbles, des chaînes, qu'on met hors de service après un certain temps de navigation.

Ces idées de mise au rebut après un certain temps de service (temps pendant lequel on suppose que la résistance des métaux est modifiée) se sont répandues dans les autres administrations; après l'accident du Mathieu-Murray on a reproduit toutes ces théories d'altération du fer ; mais la question n'a pas fait un pas, parce qu'on n'a pu en expliquer les causes ni apporter de preuves à l'appui de ces raisonnements.

Plus tard le gouvernement anglais s'est ému de la question et il a prescrit une enquête pour examiner les barres de fer semblables, soumises à des flexions ou à des chocs, se brisant sous des efforts égaux. Les expériences ont montré que le choc n'était pas plus dangereux que la pression, quand on ne sort pas des limites d'élasticité. Il en résulterait que la structure moléculaire n'est pas altérée par la nature différente de ces efforts.

M. LE CHATELLIER pense que les pièces d'artillerie, comme les câbles de marine, sont placées dans des conditions telles que les limites d'élasticité y sont dépassées et qu'alors le métal est dénaturé.

Si le bois empêche les essieux de casser, c'est parce qu'il détruit en partie les vibrations; mais les cassures de ces essieux, qui sont ordinairement des essieux de messageries, sont en tout semblables à celles des wagons.

L'AUTEUR DE LA NOTE fait remarquer que tous les métaux ne s'altèrent pas de la même manière; il y a une grande différence entre le fer et l'acier; ce dernier résiste beaucoup plus; mais ce qui influe surtout sur la durée des essieux, ce sont leurs dimensions; des essieux forts et de bonne qualité dureraient indéfiniment.

UN MEMBRE cite une expérience faite par M. Weyckmann, ingénieur des chemins de fer en Allemagne, pour démontrer que le choc ne dénature pas la qualité du fer. Cette expérience a consisté dans le soulèvement et la chute d'une barre de fer par l'intermédiaire d'une came montée sur une roue et animée d'une très grande vitesse. Cette épreuve n'a en rien altéré la qualité du fer.

M. LE PRÉSIDENT termine la discussion en disant que le changement d'é-

tat du fer, qui ne peut se démontrer que par des observations, est loin d'être prouvé par l'expérience ; que l'opinion opposée paraît la plus répandue et la plus justifiée parmi les membres de la Société.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1852.

Présidence de M. E. Flachat.

UN MEMBRE demande à compléter la description qui a été donnée dans le résumé de la séance précédente relativement à des essais faits par M. Weidtman sur l'altération des essieux.

M. WEIDTMAN a cherché dans ses expériences à placer les essieux dans les conditions où ils se trouvent sous les wagons en leur faisant supporter les chocs, torsions et vibrations qu'ils supportent réellement dans la marche des convois.

Les essieux expérimentés ont été placés dans des paliers ; on leur a imprimé un mouvement de rotation rapide au moyen d'une poulie calée à l'une de leurs extrémités ; à l'autre extrémité, une came assez longue soulevait une espèce de pilier à chaque tour d'essieu.

Il y a là, comme on le voit, à la fois vibration, choc et torsion de l'essieu.

M. LE PRÉSIDENT invite ensuite M. le général Morin, présent à la séance, à vouloir bien donner son avis sur les causes d'altération qui motivent la mise au rebut des pièces d'artillerie après un certain temps de service.

M. LE GÉNÉRAL MORIN rappelle qu'il y a dans l'artillerie plusieurs principes très répandus, quelques uns contestables, mais qui tous ont leur origine dans les faits longuement observés. Parmi ces principes, il cite celui de l'influence des basses températures sur le fer. Les soldats de l'artillerie disent que le fer gèle ; cela signifie seulement qu'il est plus cassant lorsqu'il fait froid.

Ce fait s'observe d'ailleurs dans les fers en général.

Il cite à l'appui cette circonstance, qu'à Dantzick, où la température était de 20° environ au-dessous de 0, on a mis hors de service un grand nombre de pièces d'artillerie en cassant les tourillons avec un ou deux coups de masse seulement, tandis que dans les conditions ordinaires cela est beaucoup plus difficile.

Pour ce qui est de la mise au rebut des pièces au bout d'un certain temps de service, M. le général Morin l'explique de cette façon : c'est que la plus grande altération que les pièces éprouvent a lieu à l'endroit de la lumière. Dans les pièces en bronze il arrive que le métal est décomposé, l'étain se fond, et abandonne le cuivre en certains endroits ; dans les pièces en fonte, il se forme des fentes qui ne sont pas apparentes, mais qui s'étendent suc-

cessivement et finissent par provoquer la rupture des pièces. Comme ce fait se produit après un certain nombre de coups tirés, il est prudent de ne jamais atteindre ce nombre et de mettre les pièces au rebut lorsqu'elles sont arrivées à une certaine limite de service.

Il rappelle encore ces faits curieux de mode de cassure des projectiles lancés avec une vitesse plus ou moins grande contre des corps durs, des plaques de fonte, par exemple.

Ainsi, à une faible vitesse, le boulet s'aplatit au point touché, et il se dessine sur sa surface une série de cercles qui se divisent en tranches annulaires; lorsque la vitesse augmente, il se manifeste une pyramide à cinq faces, dont la base est la partie choquée et dont le sommet se trouve dans l'intérieur du boulet; enfin, à une grande vitesse, la pyramide est remplacée par un cône dont l'angle, au sommet, s'agrandit à mesure que la vitesse de projection augmente.

Dans tous ces phénomènes, il se développe une très grande chaleur, à ce point que la fonte prend une teinte bleu-violet.

M. LE GÉNÉRAL MORIN rapproche ces faits sur le boulet de ceux qui se passent dans les pièces de canon quand elles éclatent, et il n'hésite pas à voir la même cause dans ces effets produits, les uns par le choc et les autres par les vibrations répétées. Dans les pièces en fonte, quand elles ont tiré 2,000 à 2,600 coups, elles sont arrivées près de la limite de leur service; seulement, il n'y a pas de différence quant aux effets produits par les efforts du choc ou de pression.

Ainsi, Coulomb avait observé qu'une surface de pierre comprimée par un corps solide se brisait en formant des pyramides quadrangulaires. En faisant une épreuve par le choc en lançant des projectiles contre un mur en pierre de taille, et dirigés au milieu de chaque pierre, on a trouvé que chaque point choqué était également le sommet d'une pyramide à quatre faces, de sorte que quand toutes les pierres avaient été touchées en leur milieu, le mur était comme taillé en pointes de diamant.

Les effets du choc et de la pression étaient donc analogues quant aux ruptures.

La fonte employée pour les canons est de la fonte truitée très dure et beaucoup plus résistante que la fonte grise. Quant aux pièces en fer, elles avaient été écartées jusqu'en 1846. A cette époque, on a repris les épreuves; les moyens de soudage avec le marteau-pilon ont permis de forger des pièces passablement bien fabriquées; au Creuzot, on a fait des pièces de 16 et de 24; à Rive-de-Gier, chez MM. Petin et Gaudet, on a fait des pièces de 24, de 16, de 12, et des obusiers. Parmi ces pièces, il y en a qui ont tiré 2,600 coups avec la charge de 1/3 du poids du boulet. Les pièces bien soudées n'étaient nullement altérées, mais il s'en est trouvé de mal soudées qui ont peu résisté; c'est ce qui fait ajourner encore la reprise des essais et la solution de la question.

On a également essayé jusqu'à 2,000 coups, sans observer aucune déformation, une pièce venant d'Amérique et composée d'anneaux soudés à la presse hydraulique.

Toutes ces pièces bien faites n'ont donc subi aucune altération, et cependant dans le tir il se développe de grandes vibrations.

M. LE GÉNÉRAL MORIN pense que la nature du fer est la structure à grain, et non celle à nerf, et qu'il tend à la reprendre, soit sous l'influence de la chaleur, soit sous l'influence des vibrations.

UN MEMBRE fait observer que tout l'intérêt de la question est là. On a cherché si, dans les essieux, cette reprise de forme était la conséquence des longs parcours ; mais l'opinion contraire s'appuie sur un ensemble de faits ; et la longueur du parcours est tellement variable pour des essieux semblables, que l'on ne peut y voir une base suffisante d'observations. Il cite des essieux coudés de machines qui ont parcouru sur le chemin d'Alsace jusqu'à 270,000 kilomètres, et qui sont encore en service; des essieux provenant de la même usine ne parcourent quelquefois que de 20,000 à 30,000 kilomètres.

M. LE GÉNÉRAL MORIN fait remarquer que la qualité du fer joue un grand rôle dans ces effets. Ainsi, bien que le fer doux s'allonge et se déforme plutôt que le fer dur, il résiste mieux aux chocs, subit des allongements plus considérables que le fer dur avant de se rompre.

UN MEMBRE dit que, s'il est vrai, comme le pense M. le général Morin, que la nature du fer soit celle du grain, et non celle du nerf, et que, s'il tend à reprendre cette première forme dans toutes les circonstances où il est placé, il y a tout intérêt à voir dès l'abord du fer à grain.

Il cite des essais de cémentation faits au chemin de fer du Nord, tant sur des essieux que sur des bandages qui ont indiqué dans la partie non cémentée la transformation du fer à nerf en fer à gros grain à facettes allant jusqu'à 1 centimètre de côté.

M. LE GÉNÉRAL MORIN répond que, s'il est vrai que le fer à grain est le plus dur, ce n'est pas celui qui résiste le plus long-temps ; il résistera à un effort où le fer à nerf céderait ; mais le travail mécanique total développé pour le casser sera moindre que celui développé pour casser du fer à nerf, et cette différence de travail est énorme, puisque, le travail de rupture pour le fer à grain étant représenté par 1, celui pour le fer à nerf, dans les mêmes circonstances, est représenté par 10 et quelquefois par 20.

UN MEMBRE fait remarquer que dans les forges on n'a jamais émis de doute sur la disposition moléculaire du fer ; que cette disposition est bien celle du fer à grain. Quand on veut faire passer du fer à nerf à l'état de fer à grain, il suffit de le faire rougir. Dans la fabrication du fer, il est parfaitement connu que les hautes températures avec de gros échantillons donnent du fer à grain, et que les températures basses avec de faibles échantillons donnent du fer à nerf.

UN AUTRE MEMBRE pense dès lors que, si réellement la température tend ainsi à transformer le fer, cette température se manifeste constamment dans les torsions et échauffements auxquels sont soumis les essieux et leurs fusées.

M. LE GÉNÉRAL MORIN fait observer que, quant à lui, il n'a pas à cet égard d'opinion parfaitement arrêtée, et que les éléments sur cette question manquent encore.

UN MEMBRE demande si les flexions auxquelles sont soumis les essieux ne développent pas une chaleur capable de dénaturer à la longue la qualité du fer.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer que, dans cette discussion, on perd de vue cette considération très grave que le poids des pièces, eu égard aux efforts auxquels elles sont soumises, modifie considérablement leur transformation. Il rappelle cette expérience de M. Arnoux qui a consisté à réduire successivement le poids d'un essieu de 57 à 52 kil., et que, arrivé à ce dernier chiffre, les ruptures étaient fréquentes. L'enclume et le marteau ne cassent que très rarement. Il cite encore cette observation de Brunel, qui avait remarqué que le simple mode de rupture du fer déterminait une certaine forme à grain ou à nerf, et qu'il en résulterait que l'apparence extérieure, après la rupture, ne serait pas un indice certain de la nature primitive.

Il fait observer que l'opinion ne pourrait se former sur ce point que par un ensemble de faits établissant l'altération du fer d'une manière aussi générale que l'est sa non-altération quand les dimensions d'usage sont suffisantes, que les faits cités à l'appui de l'altération sur le simple tracé, sans l'intervention de hautes températures, ont un caractère exceptionnel, et que les observations sont douteuses.

Il importe que l'on ne perde pas de vue que c'est par l'observation de faits généraux que la question peut être tranchée, et, quant à présent, cette observation manque aux défenseurs de l'opinion que l'altération se produit.

UN AUTRE MEMBRE observe que la question de temps ou de durée des actions joue un grand rôle dans tous ces phénomènes; que, si les marteaux et les enclumes ne se brisent pas plus fréquemment, c'est qu'ils travaillent pendant un quart d'heure au plus d'une manière continue, tandis que, dans les chemins fer, le travail des essieux se compte par heures.

M. LE GÉNÉRAL MORIN cite encore un fait, celui des fusils qui sont fabriqués en fer très doux, et qu'on trouve en fer à grain quand ils éclatent.

UN MEMBRE attribue beaucoup de la résistance des essieux à la façon dont les paquets qui composent les trousses de fabrication sont formées; la disposition des fibres doit, sans contredit, avoir une grande influence sur la résistance.

M. LE PRÉSIDENT ferme la discussion en priant les ingénieurs d'apporter à la Société toutes les observations qu'ils auront faites sur cette importante question.

SÉANCE DU 7 MAI 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

L'attention de la Société est appelée sur le tracé du chemin de fer de ceinture dans l'est de Paris.

Ce chemin, comme on le sait, doit relier dans cette partie de son tracé

les gares de Strasbourg, de Lyon et d'Orléans. Il ne se présente pas de difficultés entre les gares de Strasbourg et de Lyon : mais la réunion des deux gares de Lyon et d'Orléans exige la construction d'un pont sur la Seine, et c'est l'établissement de ce pont, le mode de construction qu'on veut y adopter, qui a soulevé déjà des observations et des réclamations de la part des communes de Bercy et de la Gare.

En effet, le pont, tel qu'il a été étudié par l'administration, ne sert qu'à relier les deux gares des chemins de fer ; on n'a rien ménagé dans sa forme, dans ses abords et dans sa construction, pour faciliter la navigation et desservir les nombreux établissements qui sont situés en cet endroit.

Ainsi, il existe à Bercy des celliers considérables qui reçoivent les vins de toutes les parties de la France ; sur les ports de la Gare, de la Râpée et de Bercy, il y a le dépôt des bois de construction et de chauffage, des matériaux de construction, tels que briques de Bourgogne, pierres de taille, etc. ; plus loin, dans Paris, on trouve l'entrepôt des vins, le marché aux fruits, le port au Blé ; sur le quai Saint-Paul, le dépôt des fers et fontes et des produits de la Marne. Les établissements qui bordent ces ports ont une valeur de quelques cents millions, et cependant ils sont complétement laissés en dehors dans le projet adopté pour le pont.

Il semblerait, au contraire, que le but d'un chemin de ceinture dût être de relier entre eux non seulement les gares de chemins de fer, mais toutes les gares qui apportent, dans une grande ville comme Paris, tous les produits destinés à sa consommation et au transit.

Les gares de marchandises des chemins de fer ne peuvent pas remplacer les quais et les magasins que nous venons de citer, car les marchandises ne peuvent y stationner, tandis que sur les ports c'est le contraire. Ces quais sont donc de véritables marchés où le consommateur vient s'approvisionner. L'étendue de ces différents ports, qui va jusqu'à 3,500 mètres de long sur 50 à 100 mètres de large, présente la superficie la plus considérable des établissements de ce genre dans Paris, et comme mouvement, c'est assurément aussi le plus considérable des ports de France.

Les provenances des rivières telles que la Seine, l'Yonne, la Marne, sont en possession d'alimenter Paris depuis des siècles, et depuis des siècles elles viennent sur ce point s'offrir pour la vente.

Dans ces dernières années, le conseil municipal a beaucoup amélioré les dispositions qu'offraient les deux rives pour le stationnement des produits, en faisant niveler et paver les ports et en les reliant par des rampes d'accès commodes aux larges quais qui des deux côtés bordent la rivière.

Les moyens d'absorption de ces vastes entrepôts sont tels, qu'aucun établissement n'a pu encore entrer en concurrence avec eux. Les canaux Saint-Denis et Saint-Martin, les gares de Grenelle et de Saint-Ouen, l'entrepôt des Douanes, du Gros-Caillou et celui des Marais, les magasins autour du bassin de La Villette, n'ont été que des tentatives vaines et infructueuses pour disputer à ce centre commercial une faible part de son mouvement.

Enfin la navigation de la Seine entre le Havre et Paris, qui s'opérait par des embarcations d'une dimension considérable, a été obligée de les abandonner et de faire construire un matériel qui pût lui permettre de traverser

les écluses des canaux Saint-Denis et Saint-Martin pour accéder au port de Bercy.

Le chemin de fer de Rouen n'a pu emmaganiser dans les établissements qui se sont formés autour de lui, ni une barrique de vin de Bordeaux, ni une pièce d'eau-de-vie, ni un fût d'huile, ni une caisse de savon ; tous ces produits vont retrouver les magasins des voies navigables. On voit donc l'intérêt que les chemins de fer ont de pénétrer dans le cœur de ces établissements : ils y amèneraient leurs wagons ; les produits apportés par cette voie partageraient avec ceux de la voie d'eau la faculté de libre stationnement dans le milieu du marché ; les frais de camionnage seraient en outre évités. Cette association entre les voies navigables et les chemins de fer ayant pour résultat de concentrer leurs arrivages et leur expéditions sur un point commun serait particulièrement utile à ces derniers.

Le commerce saisirait avec empressement celui des deux modes de transport qui lui assurerait le plus de célérité et de régularité ; la lutte n'existerait que sur les prix de transport, et les chemins de fer y gagneraient les frais de camionnage et évidemment les inconvénients de ces gares excentriques placées au hasard autour de Paris, en dehors de la portée et des habitudes du commerce. A côté d'un grand bien on éviterait un grand mal, celui de la perte de capitaux qui résulterait de la décentralisation des marchés, de la dispersion des magasins, de la perte de valeur de ceux qui existent, perte qui serait le résultat inévitable du système de chaque compagnie de chemin de fer de créer autour de sa gare des établissements spéciaux de magasinage et d'entrepôt.

Le projet de l'administration, s'il était exécuté, amènerait inévitablement la ruine de ces établissements.

Après ces considérations générales sur la nécessité de relier le chemin de fer avec le port de Bercy, on a exposé la question d'art, c'est-à-dire le moyen de donner à la forme du pont les dispositions propres à atteindre le but qui vient d'être indiqué.

La question de forme et de dimension dépend des conditions d'accès aux ports de la Seine et des exigences de la navigation.

Il y a deux systèmes en présence : un pont en pierre avec arcs surbaissés au 8me, proposé par l'administration, et un pont à poutres droites en tôle, proposé par plusieurs ingénieurs civils.

Le pont en pierre doit avoir à la clef $1^m,70$ de hauteur. En outre, on exige pour la navigation une hauteur sous arche de 10 mètres à la clef, ce qui fait un total à l'étiage de $11^m,70$. Cette distance est la hauteur du rail à l'étiage, hauteur qui rend très difficile et presque impossible le raccordement du chemin de fer avec les quais, parce qu'elle exige des rampes considérables.

Le pont avec poutres droites, au contraire, ne demande sous poutre que $8^m,50$ et $0^m,38$ entre le rail et la ligne inférieure de la poutre ; total $8^m,88$.

Nous avons donc pour la distance du rail à l'étiage $11^m,70$ avec un pont en pierre et arc de cercle, et $8^m,88$ avec un pont en tôle à poutres droites, ce qui donne entre les deux une différence de $2^m,82$.

D'un autre côté, comme la hauteur moyenne des rives correspond à 5

mètres au dessus de l'étiage, il ne reste donc plus que $3^{m},88$ environ pour racheter la différence de niveau entre le quai et le chemin de fer, ce qui s'obtiendra facilement avec des rampes à chaque extrémité du pont ; rampes ayant 200 mètres de long et 20 millim. d'inclinaison.

Enfin, si l'on voulait conserver le pont, qui a $11^{m}.70$, pour racheter la différence de niveau entre les chemins de fer de Lyon et d'Orléans, il y aurait lieu de construire un pont à deux étages qui se réuniraient sur un palier au delà des culées de droite et de gauche et les trains viendraient s'y aiguiller.

L'étage le plus élevé, celui de $11^{m}.70$, serait horizontal et relierait les deux gares de Lyon et d'Orléans ; ensuite, de chaque côté de ce point, il y aurait une voie inclinée allant, l'une du sommet de la culée de droite au pied de la culée de gauche, et l'autre du sommet de la culée de gauche au pied de la culée de droite, afin de relier chaque quai avec la voie principale. Dans ce cas, la hauteur *minima* du rail d'une de ces voies latérales à l'étiage serait de $8^{m}.88$.

Le pont en tôle à poutres droites permet seul ce genre de constructions et cette disposition.

Quant à la hauteur de $8^{m}.50$ de débouché entre le pont droit et l'étiage, il est plus commode pour la navigation qu'une hauteur de $9^{m}.50$ à 10 mètres avec un pont en arc de cercle. En effet, pour les remorqueurs à vapeur, dont les tambours des roues dépassent la largeur du bateau et dont la surface supérieure forme un plan horizontal, un passage droit est toujours plus franchissable qu'un passage courbe.

Pour les remorqueurs à vapeur, $8^{m}.50$ donnent autant de débouché avec poutres droites que $9^{m}.50$ avec arcs surbaissés au 8me ; en outre, il y a dans le premier cas une facilité de passage qui n'existe pas dans le second.

La même observation s'applique aux chargements des charbons, des fagots, des foins, etc.

A côté de la question générale d'établissement pour ce qui se rapporte au chemin de ceinture, vient se placer une question de détail qui a une grande importance.

Le projet de l'administration consiste, comme nous l'avons déjà dit, en un pont avec arches en arcs de cercle d'une portée de 34 ou 36 mètres. On fait observer que cette portée est trop faible à l'entrée de Paris, dans l'endroit où la navigation est le plus active ; dans un port où les bateaux ont à faire toutes leurs manœuvres, charger, décharger et tourner sur eux-mêmes. En outre, à Bercy même, le remorquage à vapeur est très actif (il s'opère sur cinq et six embarcations à la fois), et avec des arches étroites la direction des dernières embarcations remorquées devient difficile. Cette réduction de débouché gênerait donc le remorquage, entraverait la navigation, tandis que le pont en tôle permettrait facilement les portées de 45 à 50 mètres. C'est, comme on voit, une question grave encore, quoique secondaire.

On ajoute que le pont en métal pourrait permettre de ménager un passage pour les voitures et pour les piétons à côté de celui nécessaire pour la voie de fer.

Afin que chacun puisse étudier la question et soumettre ses observations, on propose d'en remettre la discussion à la prochaine séance.

UN MEMBRE dit que cette question a déjà été soulevée dans une confé-

rence des ingénieurs des chemins de fer, et qu'elle a émis le vœu que le chemin de fer de ceinture se reliât avec les établissements existants sur les quais de Bercy et de la Gare.

Il ajoute que le débouché de $8^{m}.50$ doit suffire, puisque le pont de Bercy, qui est à quelques mètres en aval de là, a la même hauteur au-dessus de l'étiage.

La construction de ce pont et le projet adopté par l'administration ont déjà ému les communes de Bercy et de la Gare; il y a eu des réclamations nombreuses: aussi a-t-on ajourné toute décision sur le système de pont, mais on a persisté dans la construction de piles distantes de 35 mètres; on en établit aujourd'hui les fondations.

UN AUTRE MEMBRE dit qu'on a proposé à l'administration un projet de pont en tôle avec portée de 50 mètres, et qu'avec ce projet on réalisait encore une certaine économie sur le devis du pont en pierre; les propositions n'ont pas été acceptées.

On rappelle que la hauteur comme la largeur du débouché est une question qui doit être résolue par le trafic.

Quant à la largeur, on voit, en comparant le Rhône et la Seine, une différence considérable dans l'importance des embarcations qui font le transport. Sur le Rhône, où la distance des arches est considérable, les bateaux à vapeur servent eux-mêmes au transport des marchandises; sur la Seine, au contraire, le défaut de largeur ne permet de les employer que comme remorqueurs.

Quant à la hauteur d'eau sur la Seine, les bateaux à vapeur peuvent encore passer avec $4^{m}.25$ de débouché quand toute autre navigation est suspendue. Mais avec cette hauteur peut-être les fourrages et les charbons de bois ne peuvent plus circuler. Leur arrivage à la gare de Bercy est secondaire, il est vrai, ainsi que leur importance.

Le but que doit atteindre le chemin de ceinture est, tout en reliant tous les chemins de fer, de porter les marchandises à l'intérieur de Paris dans le centre de la consommation.

Le pont en pierre, s'il est exécuté tel qu'il est projeté, n'améliorera en rien les conditions du marché et la facilité des arrivages pour Paris. C'est ici l'occasion d'accomplir l'ouvrage d'art le plus utile, le plus important qui puisse exister dans cette partie de la ville.

UN MEMBRE demande s'il ne vaudrait pas mieux abandonner Bercy et la Gare, et former ailleurs d'autres établissements qui fissent la concurrence à ceux existants.

UN MEMBRE répond qu'il est de ces industries qu'on ne doit pas chercher à déplacer, surtout quand elles reposent sur un capital aussi considérable que celui enfoui dans les établissements de Bercy, de la Gare et de la Halle aux vins.

UN AUTRE MEMBRE demande que dans la prochaine séance on borne la discussion à l'établissement du pont à deux étages qui a été proposé au commencement de cette séance, en abandonnant la question de passage pour piétons et voitures, pour laquelle les communes n'ont pas insisté.

Cette demande est approuvée. En conséquence, la discussion sur cette question aura lieu dans la prochaine séance.

M. NOZO donne ensuite communication d'une note relative *à l'emploi des alliages blancs dans les coussinets de machines et voitures.*

Les coussinets qu'emploie l'industrie mécanique sont assez variés. Depuis fort long-temps on connaît les coussinets en bois de diverses essences, les coussinets en os, en pierre dure, en cuivre, les coussinets en bronze de diverses compositions, en fonte ordinaire, fonte malléable trempée ou non trempée ; enfin, les coussinets en métaux blancs de différents alliages.

Chaque fois d'ailleurs qu'il surgit, pour coussinets, une nouvelle matière, une nouvelle application, soit qu'elle se place ou non sous la protection d'un brevet, il va sans dire qu'elle présente toujours, d'après les innovateurs, des avantages supérieurs au mode précédemment employé.

Dans ces dernières années on a essayé d'introduire dans les chemins de fer l'usage des métaux blancs pour la construction et la réparation des coussinets de machines et voitures. Les alliages et les méthodes employés ont pris des noms différents ; ainsi l'on connaît le régule, le métal antifriction de Grafton, le doublage Vaucher, le métal blanc de Destourbet, etc.

Notre intention n'est pas d'établir, quant à présent, l'analyse complète des avantages ou des inconvénients que peuvent présenter les applications énumérées ci-dessus ; nous y reviendrons sans doute plus tard. Nous désirons seulement présenter aujourd'hui à la Société les résultats obtenus au chemin de fer du Nord dans l'application des bronzes et des métaux blancs pour coussinets de machines et voitures.

Au début de l'exploitation, 6,000 boîtes à graisse de tenders et voitures furent garnies de coussinets en métal antifriction Grafton. Après six mois d'usage seulement, un très grand nombre de ces coussinets étaient retirés du service et remplacés par des coussinets en bronze. Vers la fin de 1848, il ne restait sous les voitures qu'un nombre fort insignifiant de coussinets antifriction. La cause de ce retrait du service était le chauffage presque permanent des boîtes, par suite d'écrasement et d'entraînement du métal sous la pression, écrasement souvent assez considérable pour boucher complétement les lumières de graissage. Il en résultait, comme on le pense bien, une traction plus pénible avec les boîtes antifriction qu'avec les boîtes en bronze. Les choses en étaient même arrivées à ce point qu'un ingénieur des plus distingués avait donné, dès 1846, au métal *antifriction* le surnom caractéristique de métal *antitraction.*

Après ce premier échec, échec complet, la Compagnie se décida néanmoins à tenter un nouveau mode d'application du métal blanc, qui, tout en évitant les anciens inconvénients, devait apporter de grandes économies dans les frais d'entretien, dans ceux de graissage, et devait, par dessus tout, diminuer considérablement le frottement.

Au lieu de construire, comme autrefois, le coussinet entièrement en métal blanc, la nouveauté consistait à préparer d'abord une enveloppe en fonte ou en bronze d'une épaisseur convenable et à la remplir ensuite du côté du roulement avec une certaine épaisseur de métal blanc. La composition du métal était d'ailleurs assez variable, et l'opération portait le nom de doublage.

Voici ce qui advint de la nouvelle expérience :

Pour les machines, on reconnut presque aussitôt que la méthode du dou-

blage ne pouvait être appliquée aux boîtes à graisse là où la charge et la vitesse étaient très grandes. Un peu plus tard on reconnut qu'il en était à peu près de même pour les coussinets de bielles, et aujourd'hui le doublage n'est plus guère appliqué, avec une certaine efficacité, qu'aux colliers d'excentriques, qui n'offrent, comme on le sait, qu'une assez faible pression par centimètre carré.

Pour les wagons, le sort fut à peu près le même.

2,000 coussinets environ, d'après ce procédé, furent mis en expérimentation sous les voitures de toutes classes. On fut bientôt obligé de les retirer des voitures à grande vitesse, puis des wagons à forte charge, et il paraît tout à fait démontré aujourd'hui que leur application doit être bornée aux voitures à moyenne vitesse et à faible charge.

Les causes de ces éliminations successives des coussinets doublés sont identiquement les mêmes que celles qui ont motivé, dès 1846, le retrait des coussinets *antifriction*.

Nous pensons devoir encore rappeler, sur l'emploi des métaux blancs, ce que nous disions dans un Mémoire sur l'entretien des roues, inséré dans les numéros d'avril, mai et juin 1849, de notre Bulletin.

« Il résulte des recherches auxquelles nous nous sommes livré, que l'usure » moyenne des fusées extérieures est approximativement, sur le chemin de » fer du Nord, de *un millimètre* par 40,000 kilomètres parcourus... Ce » chiffre s'applique aux fusées non trempées, car il est certain que les fu- » sées cémentées et trempées fourniraient un parcours plus considérable.

» Les faits que nous avons recueillis nous portent à croire que les fusées » les plus dures roulent dans les coussinets en bronze ; aussi les plus durs » fourniraient le maximum de parcours en même temps que le meilleur » service.

» On a beaucoup essayé et beaucoup vanté dans ces derniers temps des » métaux dits *antifriction* pour la construction des coussinets en général. » Nous ne saurions conseiller trop de prudence dans ces sortes d'essais, » car nous avons acquis la conviction que ces métaux *antifriction*, outre » les grandes difficultés qu'on rencontre généralement pour les obtenir ho- » mogènes, présentent le grand inconvénient d'user beaucoup plus les fu- » sées que les bronzes de bonne qualité.

» Cette plus grande usure paraît confirmée par les renseignements que » MM. Eugène Flachat et Polonceau ont bien voulu nous communiquer, et » desquels il résulte qu'un millimètre d'usure sur les fusées de Saint-Ger- » main et d'Orléans, là où les métaux blancs ne sont point appliqués, cor- » respond à un parcours de plus de 100,000 kilomètres. »

Ce fait de plus grande usure de collets en général, roulant dans des coussinets en métal blanc, en fer ou en fonte, à grains de nature tendre, avait d'ailleurs été constaté et décrit avant nous, par MM. Grouvelle et Jannez, dans leur *Guide du Chauffeur et du propriétaire de machine fixe,* page 214, édition de 1830.

Pour terminer l'énumération des résultats constatés au chemin de fer du Nord dans l'application comparative des métaux blancs et des bronzes pour coussinets, nous devons ajouter que, tout récemment, la Compagnie a construit et monté dans ses ateliers une machine propre à mesurer le frot-

tement des corps lubréfiés. Il y avait pour elle, comme on peut le penser, un haut intérêt à bien connaître les meilleures conditions du frottement, et tout spécialement à s'assurer si les prétendues propriétés du doublage se vérifieraient par l'expérience. Les résultats obtenus jusqu'à présent indiquent que le frottement que donnent les métaux blancs est sensiblement plus grand que celui que fournissent les bronzes.

Quoi qu'il en soit, l'exposé de tous ces faits ne peut avoir pour conséquence le rejet absolu de l'emploi des métaux blancs pour coussinets; car nous en connaissons de nombreuses applications dans les métiers, dans les moulins et même dans les machines à vapeur; mais notre conclusion serait cependant celle-ci :

Les métaux blancs, soit pour coussinets complets, soit pour doublage, ne sont applicables avec avantage que dans le cas de faibles charges et de moyennes vitesses.

M. LOUSTEAU donne ensuite communication d'une note relative à des essais de torsion faits sur des essieux de chemins de fer.

A l'époque de la réunion des ingénieurs et directeurs des chemins de fer allemands, au mois de février 1850, M. Krupp, fabricant d'acier fondu et propriétaire d'une usine importante à Essen, demanda qu'il fût nommé une commission parmi les membres de la réunion, pour procéder à des épreuves authentiques sur des essieux de wagons, en vue principalement de constater la bonne qualité des essieux en acier fondu qu'il fournissait depuis un certain temps au chemin de fer de Cologne à Minden.

La commission fut nommée, et les expériences eurent lieu dans l'établissement de M. Borsig, constructeur de machines à Berlin :

1° Sur des essieux entièrement en acier fondu;

2° Sur des essieux en fer et acier, le noyau et l'enveloppe extérieure étant en fer et séparés l'un de l'autre par un cylindre d'acier;

3° Sur des essieux tout en fer.

27 essieux furent essayés et rompus, savoir :

9 essieux en acier fondu de la fabrique de M. Krupp, à Essen;

4 essieux en acier fondu des usines de M. Werner, à Carswerck, près Neustad-Eberwald;

5 essieux en fer et acier de la fabrique de MM. Piepenstock et compagnie, à Hoërde, près Dortmund, dont 3 trempés et 2 recuits;

4 essieux en fer à mises de la Compagnie dite *Patentshafft and axletree Company* de Birmingham;

4 essieux en fer de la forge Piclaer, dans la Haute-Silésie;

1 essieu en fer de la forge Laura, appartenant à M. Oppenheim.

Ce dernier essieu avait déjà servi, tous les autres étaient neufs.

Les essieux furent soumis à trois sortes d'épreuves :

1° Epreuves pour constater la résistance à la torsion;

2° Epreuves pour constater la résistance au choc direct et instantané sur le corps de l'essieu;

3° Epreuves pour constater la résistance des fusées à la rupture.

M. LOUSTEAU se propose de mettre plus tard sous les yeux des membres de la Société les résultats intéressants de ces essais; il se borne, quant à présent, à donner la description de l'appareil qui a servi aux épreuves de torsion.

SÉANCE DU 21 MAI 1852.

Présidence de M. Ch. Callon, *vice-président.*

M. VICTOR BOIS donne communication d'une note sur un nouveau système de rail-longrine applicable aux chemins de fer, par M. Th. Guibal, professeur à l'Ecole des Mines à Mons.

Le nouveau système de construction de voies des chemins de fer qui fait le sujet de cette note a été conçu au point de vue de trois conditions principales à remplir, savoir :

1° *Substitution des métaux ;*

2° *Préférence à accorder aux supports longitudinaux ou continus sur les supports transversaux ou isolés ;*

3° *Maintien de l'élasticité de la voie qui tend à faire disparaître la suppression du bois.*

La valeur de ces trois principes est si complétement prouvée par l'expérience, qu'il est inutile de la démontrer et qu'il suffira d'en signaler les conséquences.

Par la substitution des métaux au bois, on compte réduire, sinon faire disparaître entièrement la dépense d'entretien due au prompt dépérissement de cette matière. En adoptant les supports longitudinaux continus, on a la certitude de réduire la surface de pose pour une même assiette obtenue, de constituer une voie plus régulière, plus résistante sans le secours de rails aussi lourds ; enfin, en rendant aux supports métalliques l'élasticité qui caractérise ceux en bois, on a l'espérance de conserver à la voie la douceur qui assure à la fois sa propre conservation et celle du matériel roulant.

De nombreuses tentatives ont été faites depuis quelques années pour réaliser ces trois conditions, souvent séparément, quelquefois réunies deux à deux, mais jamais toutes les trois ensemble.

C'est convaincu de l'importance de ces conditions que M. Th. Guibal a cherché la solution d'un problème qui occupe dans ce moment un grand nombre d'ingénieurs.

Le système proposé se compose essentiellement de longrines, sur lesquelles les rails reposent dans toute leur longueur et qui sont maintenues à une distance constante par des tirants placés au travers de la voie.

Les longrines, qui sont en fonte, se composent d'un patin, concave par dessous, de $0^{m}.30$ de largeur, qui forme l'assiette et la plaque inférieure de la longrine, et d'une nervure placée par dessus qui en occupe le milieu et règne sur toute la longueur. Sur cette nervure se pose et s'assujettit, à l'aide de clavettes et des entretoises déjà signalées, un rail en forme de gouttière

renversée sous lequel se trouve renfermée une languette de bois destinée à recevoir et à absorber les chocs.

C'est dans ces simples dispositions que tout le système consiste.

Cette combinaison satisfait aux trois premières conditions en effet.

On voulait substituer les métaux au bois, et dans le nouveau système le bois ne figure, pour ainsi dire, pas comme support, car la languette qui se trouve sous le rail, renfermée, abritée contre la pluie, hors d'atteinte de l'humidité du sol, ne peut dépérir, et, dans tous les cas, elle est d'une valeur si faible et d'un remplacement si facile, que lors même qu'elle éprouverait une détérioration, cette circonstance ne constituerait aucun inconvénient comparable à ceux qu'il s'agit d'éviter.

Quant à la supériorité des supports longitudinaux sur ceux transversaux ou isolés, elle est réalisée aussi intégralement que possible, puisque, malgré le peu de surface de pose obtenue (30 décimètres carrés par mètre courant de rail), l'assiette réelle de la voie est encore plus grande que par le système des traverses ; et l'on remarquera en outre que, par leur forme concave, ces longrines conserveront le ballast au dessous d'elles, tout en n'opposant pas au damage les difficultés qu'occasionnerait une concavité trop prononcée.

Enfin l'élasticité ou plutôt l'amortissement des chocs est garanti par la présence de la languette de bois interposée entre le rail et la longrine, et cela sans arriver à cette élasticité trop grande qu'il faut éviter dans la voie des chemins de fer, où elle ne pourrait constituer qu'une résistance à la traction de la nature de celles que l'affaiblissement du sol développe sur les routes ordinaires. L'amortissement des chocs, au contraire, est nécessaire autant pour la conservation de la voie que pour celle du matériel roulant ; n'est-ce pas dans ce but que toutes les voitures, même celles qui sont destinées au transport des marchandises, sont munies de ressorts de suspension ? N'est-ce pas dans ce but encore qu'on a proposé d'adopter les roues à rais de fer, et celles, plus élastiques encore, qui sont garnies entierement de bois entre le bandage et l'essieu ?

Pour établir l'économie de premier établissement de ce nouveau système, nous prendrons comme point de comparaison la dépense qu'occasionne à l'Etat l'établissement d'un mètre courant de voie en Belgique.

D'après les documents publiés par le gouvernement, le mètre courant de voie simple des chemins de fer de l'Etat coûte 28 fr. 49 c., tandis que le prix du mètre courant de voie simple de ce nouveau système ne coûte que 27 fr. 37 c. ; il y a donc une économie de 1 fr. 12 c. par mètre courant ; ajoutez à cela l'économie de l'entretien qui est considérable et sur laquelle nous reviendrons plus tard.

CONDITIONS TECHNIQUES DU NOUVEAU SYSTÈME.

Pour apprécier le système nouveau sous le rapport technique, nous remarquerons que les conditions nécessaires pour constituer une bonne voie sont les suivantes.

1° Stabilité complète et uniforme dans toute l'étendue de la voie ;

2° Égalité constante pendant l'usage, et absence de chocs ;

3° Simplicité et facilité de pose ;

4° Enfin, entretien facile et réparations promptes.

1° *Stabilité*. La stabilité des rails posés sur longrines est incontestablement plus grande que celle des rails établis sur traverses, cela est reconnu aujourd'hui ; c'est à ce point qu'en Amérique, où ce système est exclusivement adopté, les lignes sont mises en exploitation, pour ainsi dire, au fur et à mesure que la voie est posée, et cela sans que des affaissements de remblais y opposent l'obstacle qu'on rencontre pour tout autre système.

Il est évident, d'ailleurs, que la raideur accumulée des rails et des longrines, jointe à la meilleure répartition de la pression sur le sol, met celui-ci à l'abri des tassements partiels, qui sont si fréquents avec le système des billes, et si redoutables dans leurs effets ; quant à l'uniformité de la stabilité, le système des longrines est le seul qui la fournisse d'une manière complète, puisque dans tous les autres, suivant que la charge s'exerce sur un point d'appui du rail ou en un point intermédiaire, celui-ci résiste ou fléchit, quelque résistant qu'il soit d'ailleurs ; et il en résulte par rapport au matériel roulant, surtout à grande vitesse, un effet analogue à celui que produiraient des aspérités successives, et cet effet se révèle par des chocs multipliés.

2° *Egalité*. Les circonstances dont nous venons de parler ne tardent pas à détruire l'égalité de la voie ; la flexion générale ou partielle des rails chargés produit le soulèvement de leur extrémité, que la voiture suivante vient heurter et appliquer sur le coussinet avec violence, ce qui amène le meurtrissement des deux pièces et la mise hors de service des rails dans un temps quelquefois très court. C'est la constatation de ce fait qui a porté plusieurs ingénieurs anglais, du plus grand mérite, à adopter l'assemblage des rails à l'aide de plaques latérales en fer logées entre les bourrelets et serrées par des boulons dont la disposition toute récente est due à MM. Richardson et Robert. Les mêmes faits ont aussi donné naissance à toute une série de supports de joints qui offrent une grande surface d'appui et constituent une sorte de longrine au point de l'assemblage des rails. Parmi ces nouveaux coussinets de joints, nous pouvons citer ceux de MM. Samuel James. Enfin, c'est dans la même intention qu'au chemin de fer de Magdebourg à Brunswick, où les rails du système Vignoles sont adoptés, on a placé réellement des longrines en bois sous les joints, tandis que les points d'appui intermédiaires sont soutenus par des traverses.

Il est évident, en conséquence, que les longrines continues ne peuvent pas présenter l'inconvénient auquel les longrines partielles ou les dispositions équivalentes obvient, et que notre voie offrira, dès le principe et toujours, l'égalité que les autres ne présentent que rarement quand elles sont nouvellement établies, et jamais après quelque temps de service. Pour éviter le meurtrissement de cette languette de bois, qui pourrait avoir lieu aux extrémités, et pour l'abriter contre la filtration des eaux par le joint, l'auteur se propose de les recouvrir en ce point d'une plaque mince en tôle.

3° *Simplicité*. Quant à la simplicité du système, à la facilité de la pose, de l'entretien, et à la promptitude des réparations, toutes ces conditions sont réalisées par cette disposition.

Les longrines une fois présentées sur le sol et mises à peu près dans leur

position, le rail d'une part et les entretoises d'autre part, en assureront la continuité et le parallélisme, en sorte qu'il n'y a plus qu'à opérer le damage du sable sous la partie concave, ce qui ne peut offrir aucune difficulté et n'exigera que peu de temps. S'il s'agit de renouveler une longrine ou un rail, l'opération s'exécute avec facilité et promptitude; car, dans la première hypothèse, les longrines adjacentes déterminent rigoureusement la place de celle qu'il s'agit de poser, et dans le second cas, les longrines n'ayant éprouvé aucun changement de position, il suffit de soulever le rail usé et de lui en substituer un autre.

En résumé les questions à résoudre sont les suivantes :

Faut-il, dans l'établissement de la voie, chercher à supprimer le bois?

Faut-il donner beaucoup d'assiette avec peu de surface d'appui, et en conséquence adopter les longrines?

Faut-il réduire le poids des rails, qui se détériorent plus qu'ils ne s'usent?

Faut-il enfin restituer à une voie totalement métallique l'élasticité, ou mieux, la propriété d'absorber les chocs que la suppression complète du bois lui enlèverait?

Nous pensons qu'on sera d'accord pour répondre affirmativement à toutes ces questions, et c'est dans le but de remplir toutes ces conditions que le système actuel est présenté.

UN MEMBRE demande si la longrine en fonte est continue, ou bien si elle est interrompue.

M. V. BOIS répond qu'il présente à la Société les deux systèmes : 1° la longrine continue en fonte, qui est due à M. Th. Guibal, et 2° la longrine interrompue, qui n'est qu'une modification qu'il a faite au premier système.

Le système à longrine interrompue se rapproche du système de coussinets à plateaux de Greaves.

L'ordre du jour appelle la discussion sur le tracé du chemin de fer de ceinture dans l'est de Paris.

UN MEMBRE dit qu'il ne voit pas la nécessité d'abaisser le tablier du pont, puisque la pente est continue et régulière à 6 millim. du chemin de Lyon au chemin d'Orléans. Que si l'on abaissait le niveau de $11^{m}.70$, cela n'aurait d'autre but que d'augmenter d'un côté la rampe de 6 millim. ; que, quant au moyen de relier le chemin de ceinture avec les quais, on peut le faire par des rampes latérales.

Il exprime ses préférences pour un pont en tôle, au point de vue du développement qui pourrait en résulter pour notre industrie métallurgique.

UN AUTRE MEMBRE pense qu'il n'y a pas lieu à se raccorder en ce point avec les quais; que le trafic ne sera jamais assez important pour motiver en cet endroit la composition ou la décomposition des trains; qu'une station à quelque distance de là serait suffisante.

UN MEMBRE fait observer que le raccordement avec les quais ne peut avoir lieu que sur le pont et à l'aide d'un pont à étages.

Il pense que le trafic sera considérable, et qu'il faut, dès aujourd'hui, prendre toutes les dispositions pour le recevoir.

UN AUTRE MEMBRE donne quelques renseignements sur la hauteur des eaux en cet endroit.

Il dit que le pont en pierre doit avoir 10 mètres de hauteur sous arches, à la clef, et l'on propose pour le pont en tôle, avec poutres droites, une hauteur de $8^m.50$.

Les hauteurs des plus hautes eaux connues sont repérées aux échelles des ponts de Paris. On voit, au Pont-Royal, que la crue de 1740 a monté à $8^m.60$, et au pont de la Tournelle, que la crue de 1658 a monté à $8^m.25$. Quoique le pont Marie, qui lui fait suite, offre en plus aux eaux un débouché assez considérable, il résulterait donc que, si la Seine venait à atteindre ces élévations, il ne resterait plus de passage entre les eaux et la partie inférieure du pont. Des corps flottants s'accumuleraient à l'amont et pourraient produire de graves dégâts.

Il rappelle ensuite ce qui est arrivé sur le Rhône en 1840 : tous les tabliers des ponts qui n'avaient qu'une assez faible hauteur au dessus des plus hautes eaux connues furent atteints par la crue de cette année, qui s'éleva à $0^m.80$ au dessus des précédentes. Beaucoup de ponts furent emportés. On les reconstruisit en relevant les tabliers, et l'on en fit autant à ceux qui avaient résisté. Il est question de relever ceux de la Saône, que l'on trouve trop bas.

Bien qu'il existe des ponts sur la Seine qui ont une hauteur inférieure à celle exigée pour le pont de pierre, il y en a d'autres aussi qui se rapprochent très près de cette hauteur; par exemple, le pont d'Ivry a $9^m.67$ sous l'arche du milieu, qui a 24 mètres d'ouverture et $3^m.60$ de flèche. S'il y a un choix à faire, il est préférable de prendre la plus grande hauteur.

Si l'on examine la question au point de vue de la navigation, il y aura toujours avantage pour celle-ci à avoir une grande hauteur pour le passage sous les ponts; les eaux montant à 4 mètres submergent les chemins de halage; la remonte des bateaux cesse, il est vrai, mais les bateaux chargés qui descendent peuvent naviguer aisément avec des eaux plus élevées que le chemin de halage. Le manque de hauteur sous les ponts seul les arrêtera. Comme ces bateaux ont généralement des chargements assez élevés, le pont en pierre leur offrira toujours, en plus du pont de tôle, le segment, ayant 20 mètres de corde et $1^m.50$ de hauteur. Il y aura aussi avantage pour le navigateur à vapeur.

Il y a donc lieu d'examiner sérieusement la question d'abaissement du pont; elle intéresse à la fois la conservation du pont et la navigation.

UN AUTRE MEMBRE pense qu'on peut raccorder les quais avec le chemin de ceinture au moyen de rampes latérales au-delà du pont.

Il dit ensuite que les communes de Bercy et de la Gare demandent instamment un passage sur le pont pour les piétons et pour les voitures, et qu'il y aurait possibilité de l'accorder au pont destiné au chemin de fer. Ce passage semble tellement nécessaire que ces communes offrent 50,000 fr. pour ce travail.

UN MEMBRE demande si réellement les ponts en tôle sont plus économiques que les autres, car, jusqu'ici, on n'a aucune donnée sur ce sujet.

Il dit que l'on peut établir des ponts en fonte n'ayant au milieu que $0^m,50$ entre l'intrados des fermes et le niveau des rails, et que ces ponts peuvent être construits à deux voies à raison de 3,000 fr. le mètre courant, tout compris.

UN AUTRE MEMBRE répond qu'il a proposé à l'administration de construire le pont de Bercy (la tôle seule) à raison de 2,000 fr. le mètre courant.

SÉANCE DU 4 JUIN 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

L'ordre du jour appelle la continuation de la discussion sur le tracé du chemin de fer de ceinture dans l'est de Paris.

UN MEMBRE fait observer que cette discussion a perdu aujourd'hui toute son opportunité, le Conseil des ponts et chaussées, appelé une seconde fois à donner son avis sur la question, ayant maintenu sa première décision.

Le Conseil ne s'étant pas arrêté à l'opportunité du raccordement du chemin avec les ports qui bordent la Seine, la question se trouvait réduite au choix à faire entre un pont en tôle et un pont en pierre. A cet égard, le Conseil des ponts et chaussées paraît avoir exprimé sa répugnance relativement à l'emploi du fer et de la tôle dans les constructions de ce genre, et il est revenu au premier projet, celui d'un pont en pierre.

La Société des ingénieurs civils avait, dans une première séance, reconnu la nécessité de relier le chemin de ceinture avec les ports de la Seine au moyen du pont qui doit la traverser à Bercy ; quelques membres avaient également pensé qu'on devait profiter de la construction de ce pont pour y établir un passage pour les piétons et pour les voitures. Cette seconde question ayant été écartée, il avait été proposé, comme point de départ de la discussion, plusieurs solutions. Ainsi, on avait proposé un pont à 2 étages venant rejoindre les quais par une pente ; on a proposé un raccordement direct sur le remblai au moyen d'une courbe ; on a également proposé des systèmes de drops.

Tout développement sur ces projets serait aujourd'hui inutile à la suite de la résolution prise une seconde fois par le Conseil des ponts et chaussées.

En conséquence, on propose de retirer la question de l'ordre du jour. Cette proposition est adoptée.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Th. Guibal, dans laquelle il ajoute quelques développements sur l'établissement de son système de voie.

Les principes qui l'ont guidé sont les suivants :

1° Conserver le bois dans l'établissement des voies pour y maintenir l'élasticité ;

2° Donner la préférence aux supports longitudinaux continus sur les supports transversaux ou isolés.

Il demande qu'on veuille bien discuter son système à ces deux points de vue, soit en séance publique, soit dans une séance de commission.

UN MEMBRE fait observer que jusqu'ici il n'a été fait généralement usage que de deux formes de rails :

1° Les rails à double T, dont la forme est de plus grande résistance dans le sens vertical et posés sur supports isolés ;

2° Les fers à large base fixés sur supports longitudinaux continus, tels que le rail Brunel, ou le rail Barlow, dont la forme offre celle de plus grande résistance dans le sens latéral.

Le rail que présente M. Th. Guibal ne lui paraît remplir aucune de ces deux conditions ; sa forme n'est pas celle d'un double T, et sa surface d'appui sur la fonte est beaucoup trop faible.

UN MEMBRE répond que dans ce système de liaison du bois, de la fonte et du fer par l'intermédiaire des clavettes, fait du tout un système rigide invariable ; que, dès lors, sa surface d'appui n'est plus celle du rail sur la fonte, mais celle de la fonte sur le sol ; que ce système alors prend, comme solidité et base d'appui sur le sol, les avantages qu'offre le rail Barlow.

UN AUTRE MEMBRE pense que, dans les courbes, sous la pression et les chocs latéraux développés par les puissantes machines dont la charge sur une paire de roues va jusqu'à 12 tonnes, les clavettes se desserreront, le bois sera soumis à un effort de compression auquel il ne résistera que difficilement.

Il insiste sur le fait de la compression du bois, qui lui semble être une objection sérieuse à ce système, et, quel que soit le rapprochement des clavettes, ce rapprochement ne peut s'opposer à ce qu'elles se desserrent.

UN MEMBRE répond que, les clavettes étant espacées de $0^m,50$ en $0^m,50$, ce rapprochement empêchera les oscillations que pourrait prendre le fer dans l'intervalle.

UN AUTRE MEMBRE demande si le point de jonction de deux rails n'est pas un point faible.

On répond que les joints des fontes et des rails sont croisés de façon à ne jamais se trouver ensemble au même point.

LE PRÉSIDENT propose de renvoyer l'examen de ce système à la commission des chemins de fer. Cette proposition est adoptée.

M. H. MATHIEU donne ensuite communication d'une note relative à la reconstruction en tôle du pont de Clichy sur le chemin de fer de Saint-Germain.

SÉANCE DU 18 JUIN 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. NOZO donne communication de deux notes : l'une sur l'emploi des feux couplés à vent forcé dans les travaux de chaudronnerie ; et l'autre sur

l'emploi du régulateur oscillant dans les machines locomotives. Dans la première il fait remarquer que l'application du coke à tous les travaux de chaudronnerie exécutés dans les ateliers du chemin de fer du Nord a amené à construire et à appliquer un système de feux couplés à vent forcé.

Ce système consiste en deux feux montés sur roue. Le vent est donné, sous la grille, par des boyaux en cuir branchés sur les galeries du ventilateur.

Les fours se trouvent évidés à la partie inférieure pour faciliter la mise en place des tuyaux, quelles que soient les courbures qu'ils affectent.

Lorsqu'une soudure se présente à faire, on commence par enfoncer les deux amorces de la soudure l'une dans l'autre; puis on hisse le tuyau au moyen d'un palan fixé après un petit chariot roulant sur un rail suspendu, on fait arriver la partie à souder au-dessus des gueulards des fours; le bas du tuyau se trouve soutenu, pendant la durée de l'opération, par un plateau mobile sur une tringle en fer.

Toutes les précautions d'usage étant prises pour l'application de la brasure, on donne le vent dans les deux feux; la flamme sort à la fois par les deux ouvertures latérales en embrassant complétement le tuyau; on approche alors successivement les deux feux de manière à toujours chauffer régulièrement le tuyau tout au pourtour. L'on obtient ainsi, même pour les tuyaux du plus fort diamètre, des soudures irréprochables.

L'économie qui résulte de l'emploi de ces nouveaux appareils est facile à prévoir en comparant le nouveau mode à l'ancien. Avant l'emploi des feux mobiles à vent forcé, pour souder un tuyau on construisait, avec de la tôle enroulée, un fourneau percé de trous; on plaçait et l'on maintenait le tuyau dans ce four à la hauteur convenable au moyen de fils de fer; la position arrêtée, on jetait du charbon de bois enflammé autour du tuyau; puis, pour faciliter l'entrée en fusion de la soudure, on soufflait au moyen de deux ou trois tuyères, en ayant soin de remettre fréquemment de nouveaux charbons dans le four ainsi improvisé. La soudure une fois faite, on enlevait le charbon, qui, le plus souvent, par la négligence des ouvriers, achevait de se consumer dans l'atelier, lorsqu'on n'avait pas un tuyau tout préparé pour une seconde opération. De plus, avec ce mode de chauffage, on ne pouvait employer que des morceaux de charbon choisis.

Toutes ces sujétions disparaissent avec le nouveau système : le charbon de bois est remplacé par du vieux coke ou du menu coke. Le fourneau que l'on était obligé de renouveler souvent pour cause d'usure, est remplacé par un four solide garni intérieurement de briques réfractaires.

Quand une soudure est faite, comme on cesse de donner le vent, le coke peut attendre une seconde opération avec une consommation presque nulle.

RÉGULATEUR OSCILLANT DANS LES MACHINES LOCOMOTIVES.

Les régulateurs des machines locomotives, placés dans des dômes situés soit au dessus de la boîte à feu, soit sur le corps cylindrique, se raccordent généralement avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée, au moyen d'un

long tuyau en cuivre rouge relié d'un bout au régulateur, tantôt par un presse-étoupe, tantôt par un joint conique, et fixé de l'autre bout à la plaque tubulaire de la boîte à fumée par un joint plat.

Divers inconvéniens graves naissent de ce mode de montage des régulateurs. Lorsqu'on emploie un presse-étoupe, des fuites très fréquentes ont lieu à travers l'étoupe, et l'on éprouve les plus grands embarras pour refaire la garniture. Dans le cas d'un cône, les fuites, il est vrai, sont moins fréquentes, l'entretien moins coûteux; mais il existe toujours des difficultés assez grandes pour faire avec précision les deux joints simultanément; car il est rare que les effets de dilatation qui viennent s'ajouter aux tensions ou aux pressions initiales qu'éprouve presque toujours le tuyau après le montage, n'amènent pas des fuites assez fréquentes pour qu'il y ait un certain intérêt à chercher une disposition à l'abri de cet inconvénient.

On a récemment employé au chemin de fer du Nord un régulateur qui paraît devoir remplir, aussi bien que possible, toutes les conditions de facilité de montage, de sûreté de joint et de mobilité à suivre tous les mouvements de dilatation.

Ce régulateur présente les mêmes dispositions générales que les anciens régulateurs; la seule différence consiste dans l'addition, sur les côtés de la *tête-de-mort*, de deux tourillons venus de fonte que l'on fait reposer sur les paliers d'un support double fixé après le dôme.

Pour assurer la position du régulateur, les tourillons sont maintenus par deux petits chapeaux.

On voit, par cet exposé, que le régulateur peut facilement se mouvoir et obéir à la dilatation, et que les joints ne présentent plus par conséquent les causes de fuite signalées dans les anciens régulateurs.

M. LAVALLEY donne ensuite lecture de son mémoire formant la deuxième partie du compte-rendu de la reconstruction du pont de Clichy.

UN MEMBRE fait observer que M. Lavalley a posé d'une manière peut-être trop absolue la supériorité des ponts en tôle sur les ponts en fonte pour les grandes portées.

L'exemple qu'il a pris du pont en fonte de Saint-Denis répond à un système de construction dispendieux et peu rigide. Il est généralement admis parmi les ingénieurs anglais que si les culées d'un pont sont assez solides pour résister à la pression des arches, l'emploi de la fonte en arcs de cercle doit être préféré à la tôle en poutre; et comme derrière les culées des ponts il y a presque toujours des remblais à soutenir, ces culées doivent être solides.

M. LAVALLEY explique qu'il existe un système de pont où l'on peut employer la tôle à la compression comme dans les ponts en fonte; que ces ponts sont formés d'arcs convexes en tôle dont les extrémités sont reliées par une poutre droite formant corde et soutenant le plancher qui prend son appui principal sur l'arc en tôle au moyen de bielles de suspension (comme dans les ponts suspendus); que ce système, nommé en Angleterre *bow-string*, fait rentrer la construction des ponts en tôle dans celle des ponts en arcs en fonte, quant à la façon dont les métaux travaillent, tout en détruisant la poussée qui peut s'exercer sur les culées; que, par conséquent, on trouve ainsi dans la construction même du pont en tôle les avantages des ponts en fonte, avec un coefficient de résistance supérieur.

La discussion de ce mémoire sera continuée à la prochaine séance.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de MM. Richy et Gueyrard, par laquelle ils réclament contre le résumé de la séance du 7 mai ; ils déclarent que depuis cinq ans qu'ils ont des entrepôts aux Batignolles, ils ont constamment contenu 7 à 800 barriques de vin, eaux-de-vie, savons, sucres et tous autres produits.

Il donne également communication d'une lettre de M. Evrard, qui traite de la rupture des essieux ; cette lettre est renvoyée à la section des chemins de fer.

SÉANCE DU 18 JUIN 1852.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Situation financière de la Société au 18 juin, présentée par le Trésorier.

Nombre de sociétaires.

Le nombre des sociétaires inscrits au registre matricule à la date du 26 décembre 1851 était de.	300
Les membres rayés des contrôles, par décision du comité, pour retards trop prolongés de leurs versements, sont au nombre de. . .	58
Différence.	242
Les membres nouveaux admis pendant le semestre sont au nombre de.	15
Ainsi le total des sociétaires à la date du 18 juin est de.	257

Sommes dues, versées et à recouvrer.

Il était dû, le 26 décembre 1851, par 242 sociétaires. . .		1,51f. 335
A ajouter :		
La cotisation des mêmes sociétaires pour l'année 1852.	f. 5,808 »	
La carte d'entrée et la cotisation pour 1852 de 15 membres nouveaux.	735 »	
Les amendes pour absences non justifiées aux séances du comité.	83 »	
Les ventes de comptes-rendus.	38.05	
Les souscriptions volontaires.	2,508 »	9,172.05
Total à recouvrer.		10,685.40
Les versements effectués pendant le semestre se sont élevés à		5,767.05
Il reste dû, par conséquent, à la date du 18 juin 1852. . .		4,918.35

Dépenses faites.

Les dépenses ci-après ont été faites pendant le semestre :	f.
Deux termes de loyer.	900 »
Contributions à valoir.	70 »
Assurances contre l'incendie.	24.30
Appointements de l'archiviste.	750 »
Gages du concierge chargé de l'entretien.	100 »
Factures de M. Guiraudet, imprimeur, pour comptes-rendus	1,452.50
Factures de M. Chaix, imprimeur :	
1° Pour solde de 1851.	1,333.65
2° Pour bulletins des séances	169.40
Facture de M. Lemaire, graveur.	505.20
Note du serrurier pour installation.	20 »
Affranchissements des bulletins, comptes-rendus, circulaires, etc.	233.65
Ports et affranchissements de lettres.	24.15
Ports de livres et bulletins offerts à la Société.	24.10
Frais de voitures pour distributions de comptes-rendus.	41.65
Dépenses de chauffage.	48.50
Dépenses d'éclairage	37.35
Fournitures de bureau, frais divers.	10.15
Total des dépenses.	5,744.60

Situation de la caisse.

Il restait en caisse à la date du 26 décembre 1851.	1,640.75
Recettes du semestre.	5,767.05
Ensemble.	7,407.80
Total des dépenses.	5,744.60
Il reste en caisse le 18 juin 1852.	1,662.20

Souscription volontaire.

La souscription volontaire ouverte à la fin de 1851 a donné les résultats suivants :

Il a été versé par 23 membres du bureau et du comité.	3,120 »
Id. par 17 sociétaires.	613 »
Ensemble.	3,733 »

Dont 1,225 f. avant le 26 décembre 1851,
et 2,508 f. pendant le 1er semestre de 1852.

Total égal 3,733 f.

SÉANCE DU 2 JUILLET 1852.

Présidence de M. E. Flachat.

Il est donné lecture de deux Mémoires de M. E. Jullien, membre de la Société, ingénieur des forges de Montataire, ayant pour titres, le premier : *Explication de la trempe*; le deuxième : *Démonstration pratique que tous les carbures de fer sont des dissolutions.*

Ces deux mémoires, qui avaient été renvoyés à la section de métallurgie, ayant laissé quelques points obscurs dans l'esprit des membres chargés de faire le rapport, il a été décidé qu'on prierait M. Jullien de vouloir bien assister à une séance et y donner toutes les explications nécessaires.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur la construction des ponts en tôle et des ponts en fonte.

On fait observer que, dans la dernière séance, M. Lavalley avait cherché à prouver que, dans le pont en tôle, l'emploi de poutres verticales présentait les avantages de la fonte employée en arches; qu'en outre, dans ce système, on remplissait les tympans, et qu'ainsi on employait la tôle dans les conditions d'économie et de solidité égales à celles de la fonte.

UN MEMBRE revient sur la manière dont on a établi la comparaison entre le coût du pont sur le canal Saint-Denis, soit en fonte, soit en tôle. Il ne la croit pas juste. Il faut au moins placer les deux systèmes dans les mêmes conditions, et dans ce cas on trouve :

Pour le pont en fonte :

Fonte 131,600 k. à 0f35	46,060f
Parapets, 66 m. à 20 fr.	1,320
Charpente.	5,600
Échafaudage	8,500
Peinture	900
	62,380

Pour le pont en tôle :

Tôle, 75,000 k. à 0f80	60,000
Charpente	5,600
Peinture	3,400
	69,000

Les quantités et le prix par mètre courant seraient :

Fonte.	4,000 k.	à 0f35	—	1,435f
Tôle	2,340 k.	à 0,70	—	1,638

Ou bien totalité, par mètre courant :

Pour la fonte 1,948
Pour la tôle 2,159

UN MEMBRE fait observer que l'on vient de prendre pour base d'appréciation des chiffres qui ne peuvent plus être appliqués aujourd'hui ; que ce chiffre de 0f80 pour la tôle est trop élevé.

UN MEMBRE fait observer que M. E. Martin a fait des ponts sur la Loire à 32 fr. les 0/0 kil. tout posés.

On répond que les prix appliqués sont précisément ceux qui servent de comparaison dans le mémoire.

On ajoute qu'en 1844, quand on construisait le pont sur le canal, la fonte qui a été employée dans ces deux constructions a été fournie par l'usine de Maubeuge à 0f30 le kil., ajustage et frais de modèle compris ; les pièces étaient peu lourdes et variées ; aujourd'hui on aurait de la fonte au dessous de ce prix.

CE MEMBRE établit ainsi qu'il suit le coût du pont de Clichy, soit en fonte ou en tôle, suivant le nombre de voies :

Pont en fonte :

2 voies. . .	65,000k	à 0f35	22,855f
3 —	97,000	—	33,950
4 —	130,000	—	45,500

Pont en tôle.

2 voies. . .	35,250k	à 0f,70	24,675f
3 —	44,000	—	32,800
4 —	51,000	—	36,000

L'avantage est en faveur du pont en tôle seulement pour 4 voies ; pour 3 voies la différence est peu sensible. On remarquera que dans la première partie du mémoire pour les 3 voies, l'avantage est de 3,000 fr. pour la fonte sur la tôle.

Si le pont de Clichy avait été droit, avec 20 mètres d'ouverture, il n'aurait pu, dans aucun cas, lutter contre la fonte ; l'avantage qu'il présente à 4 voies est exceptionnel ; cela tient à sa grande obliquité, qui fait que la moitié de sa surface repose sur 10 pièces de pont qui portent sur la maçonnerie en n'ayant que 8 mètres de portée.

Il cite ensuite trois exemples de ponts en fonte :

1° Le pont de Montereau (chemin de fer de Troyes) ;

2° Les ponts de Savonnerie et de Sermaise, près de Bar (chemin d f er de Strasbourg).

Le 1er a	24 m. d'ouv.	4,000 k.	par mètre	à 0f38.	1,520f
Le 2e	14,40	—	2,500	—	—	950
Le 3e	10,08	—	1,800	—	—	684

UN MEMBRE fait observer qu'avant de connaître le prix de revient des deux systèmes, il est bon d'examiner la question d'art et de rechercher dans chacun d'eux le minimum de métal qu'on peut y faire entrer avec le maximum de résistance.

Dans les opinions qu'il a émises sur la construction des ponts en tôle, M. Lavalley a dit que l'on avait, dans un pont en tôle travaillant à 5 kil., la même résistance, la même sécurité, que dans un pont en fonte où le métal travaille à 2 kil.

Mais on peut également faire monter le coefficient pour la fonte en détruisant les oscillations des arcs par un système qui donnera aux longerons, aux tympans et aux arcs, toute la solidité et la rigidité nécessaires.

La question se trouve être, pour la fonte, celle-ci : Ne peut-on pas construire des ponts en fonte assez rigides pour élever le coefficient de travail ?

UN MEMBRE dit que si l'on ne passe pas 2 kil. pour le coefficient de la fonte, c'est que, dans un pont en arc de cercle, l'arc entier ne travaille pas seulement à la compression, mais qu'il travaille alternativement à la traction et à la compression au moment où la surcharge s'engage sur le pont et au moment où elle le quitte.

UN AUTRE MEMBRE fait observer que ce fait est vrai dans les ponts où il n'y a pas une solidarité parfaite entre les longerons, les tympans et l'arc, comme dans le pont Polonceau. On peut arriver à des ponts en fonte plus légers, plus résistants et plus solides que les ponts du système Polonceau ; aussi la base de comparaison prise par M. Lavalley pour établir le prix de revient du pont en fonte et du pont en tôle manque-t-elle, sous ce rapport, d'exactitude absolue.

M. LAVALLEY répond qu'il n'a pas pris le pont Polonceau comme point de comparaison au point de vue de sa construction, mais au point de vue de son poids seul, parce que c'est le pont en fonte le plus léger qui ait été construit sur les chemins de fer ; que tous les ponts en fonte à voussoirs sont plus lourds.

UN MEMBRE revient sur ce point, que les ponts Polonceau manquent de rigidité, de liaison dans leurs diverses parties.

La réunion des longerons et des arcs par l'intermédiaire d'anneaux qui ne se touchent qu'en un point, a l'inconvénient d'accumuler le travail en ces points ; lors du passage de la charge, l'intervalle compris entre deux anneaux consécutifs travaille à la traction dans le longeron, et celle de la partie inférieure travaille peu ; aussi, pour donner de la rigidité à tout cet ensemble, dans quelques ponts on a rempli les tympans dans l'intervalle de deux anneaux, de façon que l'arc inférieur fût constamment sollicité par la charge.

Le système de pont en fonte le plus rationnel est celui où les tympans sont composés de croisillons réunissant le longeron à l'arc ; c'est, du reste, dans ce système, que sont établis aujourd'hui la plus grande partie des ponts en fonte. Dans les ponts construits chez M. E. Martin, on n'a pas craint de

porter à 5 kil. le coefficient de résistance de la fonte, en employant pour les longerons, comme pour les arcs, la forme d'un T double.

UN MEMBRE, invité par le président à dire ce qu'il sait sur la chute du pont en pierre d'Angers, rappelle que ce pont devait être reconstruit en pierre avec des arches de 20 mètres de portée. Lors de sa chute, les piles étaient fondées, et une arche du côté des culées était presque entièrement cintrée.

On attribue la chute de la voûte au glissement des fondations, qui ont été faites en béton sur 10 mètres de hauteur et encaissées dans une enceinte de pieux qui n'étaient enfoncés dans la vase que de $1^{m}.50$ et reposaient ensuite sur un schiste ardoisier.

C'était en partie sur la tête de ces pieux, et en partie sur la pile elle-même, que les cintres qui servaient à supporter la voûte avaient leur point d'appui; la pile ayant cédé sous le poids de la voûte, le cintre a fini par échapper de dessus la retraite qui le recevait, et est tombé en entraînant la voûte.

SÉANCE DU 6 AOUT 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que, lors de l'inauguration du chemin de fer de Strasbourg, M. Vuigner, ingénieur en chef de la voie, et M. Lemoine, ingénieur, ont été nommés, le premier, officier, et l'autre, chevalier de la Légion-d'Honneur; il ajoute que cette haute distinction, si bien méritée par ces deux ingénieurs, est une preuve de la sollicitude du gouvernement pour récompenser les services rendus par les ingénieurs civils, et que ce doit être un encouragement pour ceux qui ont embrassé cette profession.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite communication :

1° De l'envoi fait par M. Tardif d'une notice relative à la chute du pont suspendu d'Angers. Cette notice paraît être plutôt la relation des faits qu'une appréciation technique de l'événement. Cette notice est renvoyée pour être examinée par la section des travaux publics;

2° D'une lettre de M. Engerth, président de la Société des ingénieurs civils d'Autriche, par laquelle il exprime le désir d'entrer en relation avec notre Société, par l'échange de nos comptes-rendus;

3° D'une lettre de M. Courtépée, membre de la Société, sur les richesses minérales dans la régence de Tunis;

4° D'une lettre de M. Love, membre de la Société, par laquelle il propose à la Société de voter à la prochaine séance un paragraphe additionnel aux statuts ainsi conçu :

« Outre les deux classes de sociétaires qui existent déjà, et qui se re-
» crutent par demandes faites suivant la forme indiquée au règlement, il y
» en aurait une troisième de *membres honoraires*.

» Le titre de *membre honoraire* sera offert sur la proposition de six
» membres, et après le vote affirmatif de la Société, à des ingénieurs étran-
» gers de la plus haute distinction et à des savants indigènes et étrangers dont
» les travaux auraient éclairé des points importants de l'art de l'ingénieur.

» Le nombre des membres de cette classe ne pourra jamais dépasser *dix*.

» Le titre ayant été accepté, le récipiendaire aura le droit d'assister à
» toutes les séances, recevra toutes les publications de la Société, et sera
» exempté de toute cotisation. En retour, il devra à la Société un exem-
» plaire de tous les ouvrages qu'il publiera et qui auront trait à l'art de l'in-
» génieur. »

La proposition que fait M. Love a pour but de faire admettre dans la Société M. Hodgkinson, dont les travaux importants sur la résistance des matériaux ont été méconnus en France, et de rendre ainsi un hommage mérité à un homme qui a rendu de grands services à l'industrie.

M. LE PRÉSIDENT apprécie la pensée qui a inspiré la proposition de M. Love. Si une disposition de ce genre existait dans les statuts de la Société, nul doute qu'il n'en pût être fait un meilleur usage; mais il fait observer que les statuts de la Société ne permettent pas de prendre immédiatement en considération la proposition de M. Love; il faut préalablement qu'elle soit délibérée en comité, et ce n'est qu'à l'époque fixée par le règlement qu'elle pourra être discutée en séance publique;

5° D'une lettre de M. David (du Havre) sur une amélioration qu'il a introduite dans les cabestans : elle consiste à faire relever la corde à mesure qu'elle s'enroule, en laissant sous elle la place libre pour chaque nouveau tour.

Il obtient cet effet à l'aide d'une lunette de forme hélicoïdale, qui entoure le tambour du cabestan, et sur laquelle la corde s'appuyant est relevée à chaque tour de la hauteur correspondante au pas de l'hélice;

6° D'une lettre de M. Meyer, membre de la Société, sur l'emploi de la détente variable dans les machines locomotives, et dans laquelle il donne un tableau comparatif de la dépense de combustible et de la puissance des machines françaises construites par lui avec la détente J.-J. Meyer et les machines étrangères du système Stephenson.

Ces documents ont été relevés sur les chemins de fer de Bavière, où fonctionnent ces machines.

M. MEYER, en adressant à la Société ces documents, demande qu'ils soient examinés dans la section compétente.

UN MEMBRE fait observer que les documents sont insuffisants pour faire une étude comparative complète. Il faudrait que M. Meyer eût l'obligeance d'envoyer les dessins de chaque système de machines qu'il a mis en parallèle.

UN AUTRE MEMBRE partage cette opinion, mais il insiste sur ce point que, dans cette circonstance, la Société n'a pas à se prononcer sur la supériorité de tel ou tel système de locomotive, mais seulement de chercher à reconnaître les bons effets obtenus par divers modes de détente.

Les documents adressés par M. Meyer sont renvoyés à la section des chemins de fer.

7° D'un mémoire de M. E. Jullien, membre de la Société, ayant pour titre : *Cémentation de la fonte dans les oxydes métalliques.*

L'ordre du jour appelle la lecture et les explications sur les mémoires de M. E. Jullien, ses recherches et ses découvertes relatives à la trempe et aux carbures de fer.

La lecture du mémoire de M. Jnllien, faite dans une des précédentes séances, avait laissé très incertain dans l'esprit de beaucoup de membres ce que l'auteur entendait par combinaison et dissolution.

Voici comment M. Jullien les définit :

La combinaison incontestable accuse en général les trois propriétés suivantes, savoir :

1° Les propriétés physiques et chimiques du composé diffèrent essentiellement des propriétés physiques et chimiques des composants ;

2° Les composants sont toujours en proportions définies et invariables dans le composé ;

3° Les réactions chimiques ou de la pile sur le composé n'ont d'effet que là seulement où a lieu le contact.

La dissolution incontestable accuse, au contraire, les trois propriétés suivantes, savoir :

1° Les propriétés physiques et chimiques du composé participent de celles de tous les composants ; en d'autres termes, chacun des composants conserve dans le composé toutes ses propriétés physiques et chimiques ;

2° Il y a un maximum de saturation qu'on ne peut dépasser, mais au dessous duquel le composé se forme en toutes proportions et en accusant toujours les mêmes propriétés, seulement à un degré d'intensité proportionnel au degré de saturation ;

3° Les réactions chimiques ou de la pile, en un point quelconque, sur l'un des composants, produisent leur effet sur ce composant dans toute sa masse.

Ainsi, l'état de dissolution ne s'applique pas à l'état liquide seul, il s'applique aux trois états des corps.

Ceci posé, M. Jullien définit la *trempe* de la manière suivante :

A son avis, la tempe n'est qu'un moyen artificiel pour produire la cristallisation du carbone en facilitant l'émission de la chaleur latente.

En effet, prenez une barre d'acier fondu ; chauffez-la au rouge-cerise et étirez-la en tôle fine de moins de 1 millimètre d'épaisseur.

Portez cette tôle, encore chaude, à la cisaille, elle se coupe facilement ; laissez-la refroidir lentement, et, quand elle est froide, portez-la à la cisaille : elle casse comme du verre, et présente dans sa cassure le grain de l'acier trempé et recuit.

Il y a donc eu cristallisation de carbone sans trempe, et cela par refroidissement lent dans l'air, à la température ordinaire.

N'est-on pas en droit de conclure de ce fait, qu'il est toujours une température à laquelle le carbone cristallise, quelle que soit son épaisseur ? Si la température de 10 degrés suffit pour permettre la cristallisation du carbone dans une tôle de 1 millimètre d'épaisseur, ne peut-on admettre que la température de cristallisation naturelle du carbone en dissolution, par refroi-

dissement lent, est en raison inverse de l'épaisseur de l'échantillon d'acier?

Ne constate-t-on pas ce fait tous les hivers, quand le froid prend subitement, que les essieux et les bandages cassent et accusent une texture cristalline?

M. E. Jullien prend les choses à un point de vue plus général; il cherche l'explication de la trempe non seulement dans le fer, mais encore dans le soufre, l'eau, le bronze, etc.

Voici les définitions et les principes sur lesquels repose sa théorie, déduite d'observations :

« Tremper un corps, dit-il, c'est lui faire éprouver en quelques secondes une variation de température que, par les moyens ordinaires, il n'éprouverait qu'en plusieurs minutes. »

Expliquer la trempe, c'est faire connaître les causes des effets extraordinaires qui sont la conséquence de cette opération.

Il ajoute ensuite que l'explication de la trempe dépend tout entière de l'exactitude des deux hypothèses suivantes, savoir :

1° Les composés solides, liquides ou gazeux, dont l'un ou plusieurs des composants se comportent en présence d'une réaction chimique ou de la pile comme des corps en dissolution, sont des dissolutions.

2° Quand un corps atteint la température et la pression auxquelles a lieu d'ordinaire un de ces changements d'état physique, il faut, pour que ce changement d'état ait lieu, que la température et la pression restent stationnaires pendant un certain temps déterminé par la nature du corps.

Après avoir expliqué les principes précédents par divers exemples, il tire les conclusions suivantes :

L'acier est une dissolution de carbone dans le fer cémenté à l'état mou, c'est-à-dire avant fusion de métal.

S'il a été refroidi lentement, le carbone est à l'état mou dans le fer dur.

S'il a été trempé, le carbone est cristallisé.

La fonte blanche est une dissolution de carbonne cristallisé dans le fer liquide.

La fonte grise est un mélange de graphite et de cristaux d'acier au maximum de saturation.

Si elle a été refroidie lentement, le carbone est à l'état mou dans les cristaux d'acier. Si, prise solide à la température rouge-cerise, elle a été trempée, le carbone est cristallisé dans les cristaux d'acier fondu.

La fonte douce (coulée très chaude dans une coquille chaude) est théoriquement une dissolution de carbone mou dans du fer liquide.

M. JULLIEN donne ensuite quelques développements sur ce principe, que tous les *carbures du fer* sont des dissolutions; ainsi il pense que dans les hauts fourneaux la fonte ne se forme qu'après qu'il y a eu formation d'acier fondu. C'est dans le *ventre* que l'acier fondu se fond et commence seulement à se saturer à l'état liquide, c'est-à-dire à devenir fonte; la forme d'un cône droit de gueulard au ventre est motivée par l'augmentation successive du volume de la masse d'acier qui se forme, masse qui se trouve à son maximum de formation quand elle arrive au ventre, où sa fusion lui fait occuper un volume moins considérable; de là la forme conique renversée des étalages avant d'arriver à l'ouvrage.

Passant aux effets de la trempe du fer, M. Jullien dit que l'effet de la trempe est d'absorber la chaleur latente du carbone, effet que l'eau produit d'autant mieux qu'elle a une grande capacité calorifique ; dès que cette absorption peut s'effectuer, quel que soit le moyen employé, il y a cristallisation du carbone disséminé dans la masse du fer.

UN MEMBRE ne partage pas cette opinion ; il dit que la trempe détermine dans l'acier un changement de forme des molécules par suite de la différence des températures ; il ne voit pas que ce principe reconnu soit infirmé par la théorie de M. Jullien. Ce qu'on cherche en pratique, c'est un refroidissement brusque dans l'eau, et à toute nature d'eau on préfère celle qui a déjà servi.

M. JULLIEN pense qu'un refroidissement lent peut remplacer un refroidissement brusque.

Mais dans la trempe il y a deux choses inséparables, dit M. Jullien, il y a la trempe et le recuit.

Quand on chauffe l'acier au rouge-cerise, il se constitue à l'état de cristaux de fer tenant du carbone liquide en dissolution. Si dans cet état on le plonge dans l'eau le carbone de chaque cristal cristallise, et on obtient un corps sans consistance autre que celle résultant de la cohésion des cristaux ferrugineux, cohésion très faible, comme on sait.

Si alors on recuit graduellement ce corps, le calorique circulant tout autour des cristaux avant de les pénétrer à cœur, remet en fusion le carbone répandu à la surface de ces cristaux, d'où résulte, par la trempe à temps, une nouvelle cohésion infiniment plus tenace que la première, le carbone de tous les cristaux se trouvant, dans ce cas, relié par contact en une masse homogène.

La trempe est d'autant plus forte que le recuit est plus faible.

UN MEMBRE pense que le recuit ne serait pas nécessaire si l'ouvrier était assez habile pour arriver du premier coup au degré de trempe qu'il veut obtenir ; l'acier ainsi trempé a beaucoup plus de ténacité que l'autre. C'est cette difficulté qui fait qu'on est obligé de refaire une seconde opération.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer qu'on ne recuit pas toutes les pièces que l'on trempe ; ainsi, jamais on ne recuit les limes.

SÉANCE DU 20 AOUT.

Présidence de M. EUGÈNE FLACHAT.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur les mémoires de M. Jullien.

Dans la dernière séance, M. Jullien a donné une explication de la trempe des carbures de fer, en partant de ce principe :

Les carbures de fer sont des dissolutions.

Il cherche à démontrer par des exemples que les carbures de fer, et, en général, les *fers impurs*, *sont des dissolutions.*

Il entend par fers impurs les fontes, les aciers et les fers du commerce.

Il cite ensuite les exemples suivants :

1° DU FER MIS EN CONTACT AVEC L'OXYGÈNE.

Quand le fer est en contact avec l'oxygène à une haute température, il donne naissance à deux espèces de produits, qui sont :

1re espèce : les oxydes de fer ou combinaisons ;

2e espèce : les fers brûlés ou dissolutions.

Si vous cémentez ce dernier fer pendant douze heures dans du charbon de bois au rouge-cerise, ou si vous le recuisez pendant vingt-quatre heures dans un bain de laitier, comme l'indique Karsten, ou simplement en vase clos, comme la tôle fine, il redevient à nerf.

La simple évaporation en vase clos (car dans le four dormant le fait n'a pas lieu) a suffi pour faire évaporer la substance qui détruisait la ténacité du fer.

On verra plus loin que la température seule suffit pour évaporer le zinc, l'étain ou le soufre, en dissolution dans le fer.

Or, dans le cas présent, quelle est la substance que contient le fer pour acquérir des propriétés si contraires à celles qu'il possède ordinairement?

D'après M. Jullien, il y a eu dissolution d'oxygène dans le fer. Le fer n'ayant été en contact qu'avec ce gaz et l'azote, et l'azote ne se combinant qu'à l'état naissant, c'est donc l'oxygène qui produit les fers brûlés.

En effet, prenez un barreau de four dormant, c'est-à-dire un barreau restant quelquefois un an au four avant d'être renouvelé, cassez-le ; vous obtenez deux parties dans la cassure : 1° une enveloppe de deutoxyde de fer, ayant jusqu'à un centimètre d'épaisseur du côté du feu ; 2° à l'intérieur, un fer brûlé.

Il y a donc d'abord dissolution de l'oxygène dans le métal avant qu'il y ait combinaison.

2° DU FER MIS EN CONTACT AVEC L'ÉTAIN.

Ce fer, dont la cassure et les propriétés sont identiques, on peut dire, avec celles du fer brûlé, s'en distingue en ce que, quand on le recuit ou le cémente, il ne change pas de nature, et n'est pas vendable dans le commerce.

Ce fer, chauffé fortement à la forge, dégage des fumées d'acide stanique. L'alliage est incontestable ; seulement, d'après M. Jullien, alliage et dissolution sont synonymes.

3° DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE ZINC.

Quand on cémente la fonte dans l'oxyde de zinc, une partie du zinc métallique réduit se dissout dans le fer ou l'acier obtenu et le rend cassant.

Si l'on chauffe fortement le métal, le zinc se volatilise.

Il en est de même du soufre des fers rouverains : le soufre ne s'en va pas complétement, mais il y a dégagement très sensible d'acide sulfureux.

D'après M. Jullien, le sulfure neutre de fer, F S, quelque chauffé qu'il soit, ne pouvant volatiliser du soufre, il en résulte que les fers rouverains sont comme les fers zingués, étamés et oxygénés, des dissolutions.

4° DU FER MIS EN CONTACT AVEC L'ACIER.

Mettez une barre d'acier fondu entre quatre barres de fer à nerf, chauffez le tout au blanc, et étirez en carré ou en rond, vous obtenez une barre de fer fort, parfaitement homogène.

A son avis, si le carbone n'était pas à l'état de dissolution dans les fers, mais à l'état de combinaison, bien certainement il ne se répartirait pas aussi uniformément dans la masse.

5° DES FERS CARBURÉS MIS EN CONTACT AVEC UN OXYDE MÉTALLIQUE QUELCONQUE.

Quand on cémente la fonte, l'acier et même le fer fort, dans un oxyde métallique, on fait disparaître le carbone. La fonte devient acier ou fer; l'acier et le fer fort deviennent fer à nerf.

Ce n'est pas l'oxygène de l'oxyde qui est allé trouver le métal assurément, l'oxyde métallique étant une combinaison décomposable seulement par réaction atomique, c'est-à-dire dans le cas seulement où l'agent décompositeur réagit directement sur chacun de ses atomes composants.

C'est donc le carbone qui s'est rendu de l'intérieur du métal à la surface, et est venu décomposer l'oxyde.

On voit par là une réaction analogue à celle du fer dans la dissolution de sulfate de cuivre, où il suffit d'un point de contact pour que tout le sulfate de cuivre vienne se décomposer sous l'action du fer.

Mettez du fer pur en contact avec de l'oxyde de fer, mélangez-les atomiquement, chauffez fortement, vous ne retirerez de là que du fer et de l'oxyde; tandis que, comme il a été dit plus haut, du fer pur, même en barre, mis en contact avec de l'acier, partage avec lui le carbone dont il est saturé.

Ces deux effets sont distincts et caractéristiques.

M. Jullien termine en citant quelques faits de la métallurgie du fer.

Le recuit de la tôle au four dormant avec refroidissement lent a pour but, tout en détruisant l'effet de l'écrouissage, d'empêcher le carbone, qui existe toujours dans le fer, de cristalliser et de rendre les tôles cassantes.

Le recuit des tôles fines en vase clos a pour but, tout en produisant les mêmes effets que le four dormant, de les préserver de l'action oxydante de l'oxygène, et, en outre, d'évaporer l'oxygène, qu'elles tiennent toujours plus ou moins en dissolution, par suite du passage des platines au four à souder.

Les cloches ne sont autre chose que le résultat de la réaction du carbone en dissolution sur l'oxyde en suspension, tant dans la tôle que dans l'acier de cémentation.

Le grand vice de l'affinage de la fonte par fusion du métal est, tout en ne le décarburant pas complétement, d'introduire dans le métal de la paille d'oxyde, qu'une seconde fusion seule peut faire complétement partir.

De là l'origine de la fabrication de l'acier fondu.

On voit par là que, par le procédé actuel de la fabrication du fer, on ne peut arriver à obtenir du fer parfaitement homogène qu'en cémentant de l'acier fondu dans un oxyde métallique.

Les fers à grains, fers forts, provenant du corroyage de paquets, ne peuvent être homogènes que si les barres qui les composent ont été préalablement décapées, soit mécaniquement, soit par une trempe, à la température rouge, dans l'eau, qui en détache l'oxyde.

En effet, s'il existe de l'oxyde de fer entre les barres composant un lopin de fer fort, cet oxyde réagit sur le carbone de la surface en contact, et convertit en nerf le grain, qui n'était dû qu'à la présence du carbone.

La cassure accuse alors autant de lignes de nerfs qu'il y a de soudures, et bien souvent les soudures elles-mêmes sont mal faites, parce que l'oxyde, très peu fusible, est resté intercallé entre les barres.

La décarburation, dans ce cas, est d'autant plus considérable qu'il y a plus d'oxyde entre les barres.

Après la communication de M. Jullien, un membre dépose sur le bureau des échantillons de blendes, et demande si, parmi les membres de la Société, quelques-uns ont eu à s'occuper du traitement des blendes par le bois.

UN MEMBRE répond qu'il s'est occupé de cette exploitation, et qu'il a employé le bois de sapin ; mais il fallait qu'il fût préalablement desséché.

On ajoute que le grillage des blendes est aussi une des opérations capitales du traitement du minerai ; on emploie un procédé qui consiste à faire ce grillage avec de la vapeur d'eau et à l'abri du contact de l'air ; que, de cette façon, on enlève facilement le soufre : ce procédé est très simple et très efficace.

UN MEMBRE dit qu'il a obtenu par ce procédé de bons résultats : il a obtenu 40 à 42 0/0 de zinc ; mais il faut que les fours aient une forme particulière ; il faut des foyers plus courts que ceux qu'on fait habituellement ; il faut aussi du bois essentiellement sec, autrement on n'obtient pas la température nécessaire à la réduction du minerai.

M. PETITGAND donne ensuite communication d'une note sur les produits réfractaires.

Il est rare, dit-il, de ne pas trouver autour de soi les terres nécessaires pour ses compositions, et, par des mélanges convenables, on arrive toujours à constituer de bonnes matières ; mais, selon lui, le point important de la fabrication est la dessiccation ; il faut qu'elle soit lente et graduée ; il faut que la terre ait vieilli ; c'est à cette condition que les briques et creusets durent long-temps au feu.

La dessiccation étant le point important de la fabrication des produits réfractaires, M. Petitgand donne dans son mémoire la description des modes de dessiccation naturelle et artificielle, et des appareils employés.

Après les appareils de dessiccation, il termine par l'énumération et la description des fours destinés à la cuisson.

UN MEMBRE pense qu'on peut toujours obtenir des produits réfractaires

par la cuisson et par des mélanges de terres ordinaires ; ainsi, en prenant de la terre, la soumettant à la cuisson, la pulvérisant, ajoutant encore un tiers de terre neuve et mélangeant, on doit arriver à avoir des produits réfractaires.

M. PETITGAND partage cette opinion ; mais il fait observer que ces cuissons répétées sont dispendieuses ; il est certain, du reste, que plus on recuit une terre, plus on y développe l'élément siliceux : aussi les briques les plus vieilles sont celles qui donnent les meilleurs produits réfractaires ; les cuissons diminuent aussi les tendances au retrait.

M. Petitgand cite cependant un exemple de schiste qu'on trouve près de Carthagène, en Espagne, où ce principe ne se vérifie pas. Du reste, il faut, en quelque sorte, une nature de terre spéciale à chaque destination. Ainsi, les terres bonnes pour certains fours ne le sont pas pour d'autres ; c'est une étude spéciale et locale à faire.

UN MEMBRE, qui partage cette opinion, dit que toute usine un peu importante a intérêt à fabriquer elle-même ses produits réfractaires ; elle y emploie ses déchets, et arrive ainsi à un prix de revient très bas et à des produits excellents.

SÉANCE DU 3 SEPTEMBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

L'ordre du jour appelle la lecture d'un extrait, par M. Lorentz, de deux mémoires lus à l'Institut des ingénieurs civils de Londres, et relatifs tous deux à l'exploitation des chemins de fer.

Le premier de ces mémoires est du capitaine Marck Huish, et traite des accidents.

L'auteur fait remarquer que, s'il est vrai que la bonne construction et le bon état de la voie soient la base fondamentale de toute sécurité, s'il est nécessaire de ne se jamais départir, à son égard, d'une stricte surveillance, indispensable surtout lors d'un brusque changement de temps, alors que les points faibles d'une voie se trahissent pour ainsi dire d'eux-mêmes, encore faut-il reconnaître que c'est de la voie que provient le moins grand nombre d'accidents.

Il est bien rare que les trains déraillent et, alors, c'est généralement, non pas à la négligence qu'il faut l'attribuer, mais à des obstacles placés à dessein sur la voie. Ces attentats prennent les formes les plus variées et les plus ingénieuses, et l'on ne saurait se faire une idée de leur fréquence. La pénalité attachée à leur répression a été récemment aggravée, et l'on espère que le nombre en diminuera. — Le rapide développement du trafic et particuliè-

rement de celui des marchandises pesantes, a conduit, sur les lignes artérielles de l'Angleterre, à l'établissement de nombreuses voies accessoires et de dégagements; le *London and North-Western* a posé ainsi, depuis un petit nombre d'années, plus de 85 kilomètres de voies nouvelles; nécessité qui, en multipliant les croisements et les aiguilles, multiplie dans la même proportion les chances d'accidents; il est reconnu comme axiome que tout ce qui rompt la continuité des rails est un danger. C'est à de judicieux réglements, combinés avec un bon système de signaux, qu'il appartient de contrebalancer ces inconvénients. Il est juste, toutefois, de remarquer que, depuis que l'on a réduit le nombre des aiguilles placées à *contre-marche*, le danger a diminué. La confiance que l'on a accordée aux aiguilles *self-acting* n'a pas peu contribué aussi à produire des accidents. Règle générale: il est peu sûr de charger la machinerie du soin des manœuvres et de la surveillance (1).

Passons maintenant au matériel roulant. — Sur mille accidents arrivés aux machines-locomotives sur le *London and North-Western*, les ruptures et fuites de tubes figurent en quantité plus que double de tout autre accident; ajoutées aux ruptures de ressorts et soupapes, elles constituent le tiers du nombre total des accidents de machines, et, quoique n'offrant pas de danger direct, encore peuvent-elles amener, indirectement, des collisions de trains. L'excellente construction des voitures à voyageurs les exempte, on le peut dire, de tout accident. Dans les quatre dernières années, l'énorme matériel du *London and North-Western* n'a eu à enregistrer que la rupture de quatre roues en fer et de deux roues en bois. Originairement, il arrivait assez fréquemment que les essieux *chauffassent*; mais le nombre de ces accidents a été notablement réduit par l'emploi des boîtes à graisse perfectionnées. Les wagons à marchandises ne méritent point le même éloge; c'est, de toutes les parties du matériel, la moins améliorée; les ruptures d'essieux y sont fréquentes; en outre, leur destruction est singulièrement activée par le mode d'attache, qui est très défectueux, et par l'usage de tampons sans ressort et qui ne concordent pas en hauteur ni en diamètre.

Il n'y a pas d'exemple de mort provenant d'incendie, soit spontané, soit dû à quelque débris de coke enflammé; mais il y a eu de fréquentes alertes. Ce danger, et d'autres encore, ont fait imaginer divers moyens de communication entre les voyageurs, le conducteur du train et le conducteur-mécanicien, tous fondés à peu près sur le même principe, à savoir: l'établissement d'une corde ou d'un long fil métallique; mais la pratique a condamné ce système. Une autre solution plus praticable, mieux accueillie, patronnée même par les commissaires des chemins de fer, consiste dans le prolongement des marchepieds, de telle sorte qu'ils forment une étroite plate-forme régnant d'un bout à l'autre du train; mais cette mesure à fini, à son tour, par être unanimement condamnée par un comité de chemins de fer. La méthode actuellement en vigueur sur le *London and North-Western* consiste

(1) Il serait plus exact de dire qu'en règle générale les machines sont plus sûres que l'œil et le bras humains, sujets à tant d'inexactitude et d'irrégularité; l'exclusion qu'appelle le capitaine Marck Huish ne devrait s'adresser qu'exceptionnellement à des appareils insuffisamment conçus ou peu perfectionnés.

à faire saillir la guérite du conducteur de train de 30 centimètres, environ, en dehors des autres voitures ; placé à l'extrémité du train, le conducteur peut ainsi apercevoir les signes faits avec la main ou un mouchoir ; mais ce moyen ne peut servir la nuit.

Les diverses sources des accidents qui viennent d'être énumérés ne forment pas la dixième partie de ceux qui n'ont d'autre cause que des infractions aux règlements et de l'inattention aux signaux. Dans ces derniers temps, les signaux fixes des stations ont reçu de notables améliorations et l'adoption de grands *sémaphores*, aidés de signaux auxiliaires, ne laisse que peu à désirer ; à quoi il faut ajouter les signaux à la main, applicables aux arrêts entre stations, et les signaux fulminants ou détonants, qui pourvoient parfaitement aux éventualités du brouillard. — Quant au télégraphe électrique, il a singulièrement facilité l'exploitation en mode anormal ou variable ; tellement, qu'en 1851, sur 7,900,000 voyageurs (soit environ le tiers de la population de l'Angleterre) qu'a convoyés le *London and North-Western*, un seul a trouvé la mort, et cela par suite d'une grave infraction au règlement ; pendant les six mois qu'a duré l'Exposition universelle, 775,000 voyageurs, dans 24,000 voitures, ont été remorqués par des trains de plaisir, tous convergeant vers un point central unique, arrivant à des heures irrégulières, déversés par plus de trente embranchements différents, et l'on n'a pas eu à noter le moindre accident, quoique l'on n'ait pas un instant interrompu l'énorme service ordinaire de cette grande artère. C'est, du reste, à tort que l'on s'effraie de l'irrégularité des trains ; avec une bonne discipline et de bons signaux, l'irrégularité dans les départs n'offre aucun danger ; on peut même dire que l'incertitude qui en résulte surexcite la vigilance du personnel et le tient en éveil pour le plus grand avantage de la sûreté.

En résumé, les statistiques des chemins de fer et les documents administratifs donnent, en les signalant périodiquement au public, une importance peu réelle aux accidents de chemins de fer. Si l'on relevait de même les accidents des steamers, des mines, des omnibus et même des piétons, on demeurerait convaincu que les chemins de fer, à part tous leurs autres avantages, offrent celui d'un mode de voyage plus sûr que pas un des autres systèmes passés ou présents de locomotion.

Le second des mémoires dont nous donnons l'extrait est de M. Braithwraite-Poole, et traite des avantages économiques réalisés par les chemins de fer, ainsi que des améliorations que l'on pourrait apporter dans leur exploitation.

Le trafic des voyageurs dépasse annuellement, sur les chemins de fer de la Grande-Bretagne, quatre fois la population entière de ce pays ; il se fait à une vitesse de trois fois celle des anciennes diligences et des malles, et à des tarifs d'un tiers de ceux de ces véhicules ; tandis que le prix du transport des marchandises, minerais et produits agricoles, y est de 50 0/0 moindre qu'il n'était il y a quinze ans sur les canaux et les routes à barrières.

Les tarifs ordinaires sont, par voyageur, de $0^{f}.03$ à $0^{f}.19$ par kilomètre ; et, par tonne de marchandises, de $0^{f}.06$ à $0^{f}.39$.

Sans les chemins de fer, jamais on n'eût pu accomplir la grande réforme du tarif postal ; jamais on n'eût pu mettre l'Exposition universelle à la portée

des masses ; les consommations de toute nature seraient restées à peu près stationnaires, et les foyers des pauvres habitants de la campagne ne seraient point chauffés par le charbon.

Diverses modifications pourraient être introduites dans l'exploitation, dans le but d'en diminuer la dépense. On peut citer, en premier lieu, la fusion des diverses lignes en quatre grands groupes, fusion qui assurerait l'unité dans la direction, dans l'entretien de la voie et du matériel, et même dans la construction de ce dernier. Il serait également utile, dans l'intérêt de tous, de faire, autant que possible, complète séparation des classes de voyageurs, remorquant chacune d'elles à des vitesses différentes. Il n'est pas juste que les voyageurs qui paient les tarifs les plus élevés voient arriver en même temps qu'eux les voyageurs de troisième classe.

Dans la discussion qui a suivi la lecture des deux mémoires, on a reconnu qu'il était à souhaiter, en effet, que les axes des tampons correspondissent entre eux ; mais l'idée d'imposer au matériel une complète et générale uniformité a été vivement repoussée.

On a également combattu, comme impolitique et impraticable, l'idée de diviser le royaume en quatre groupes et de fusionner le matériel dans chacune de ces zones.

Une autre question a été soulevée dans la discussion, celle de savoir s'il était avantageux ou non, pour les compagnies, de fabriquer elles-mêmes leurs machines et leurs wagons, et même, comme on en a eu l'idée, leurs propres rails. De nombreux exemples ont été produits pour prouver que les compagnies ne peuvent fabriquer aussi économiquement que les ateliers des particuliers. Un grand et excellent constructeur de locomotives a subi des pertes considérables depuis 1848 ; que n'eût pas perdu, dans de semblables circonstances, une compagnie incapable de déployer, pour la conduite d'un semblable travail, l'énergie, les soins et l'esprit de suite d'un constructeur particulier !

Cependant quelques personnes ont été d'avis que lorsqu'une compagnie exécute elle-même son entretien, il peut être économique pour elle d'utiliser ses outils, et le temps disponible de ses travailleurs, à la construction d'un matériel neuf.

On a admis que l'entretien de la voie, la fabrication du gaz et un petit nombre d'autres travaux pouvaient, à juste titre, être directement régis par les compagnies ; d'autre part, on a avancé qu'il était de leur intérêt de se décharger, sur des entrepreneurs, de la traction et de l'entretien du matériel ; il devient possible, ainsi, d'arrêter le compte capital, et les actionnaires peuvent voir clair dans leur position.

M. JULLIEN donne ensuite une analyse de son troisième mémoire intitulé : *De la cémentation de la fonte dans les oxydes métalliques.* Il fait remarquer que du moment où les carbures de fer sont des dissolutions, il n'est pas nécessaire, pour en retirer les corps étrangers qu'ils contiennent, de les traiter atomiquement comme des combinaisons ; en d'autres termes, il n'est pas nécessaire, pour convertir la fonte soit en acier, soit en fer, de la mettre en fusion mélangée avec des oxydes métalliques ; il suffit seulement de la mettre en contact extérieur, à une température convenable, avec les réactifs capables d'attirer au dehors les composants de la dissolution.

Or, en ce qui concerne le carbone, c'est-à-dire le principal composant

de la dissolution, les oxydes métalliques sont le réactif par excellence pour attirer ce corps à la surface de la fonte.

Considérant donc les fontes comme des dissolutions ferrugineuses de carbone parfaitement pures, sauf à tenir compte plus tard des autres matières étrangères qu'elles contiennent, la fabrication de l'*acier*, du *fer* en *barres* et des *tôles* se réduit à une *cémentation de la fonte dans un oxyde métallique sans fusion et à un étirage sans corroyage.*

M. Jullien rend alors compte des effets de la cémentation de la fonte en barres plates dans les oxydes métalliques, suivant que les barres sont :

1° Isolées dans l'oxyde métallique :

2° Contiguës entre deux lits d'oxyde;

3° Isolées sur un lit d'oxyde seulement;

4° Situées entre un lit d'oxyde d'une part, et une tôle de fer, du charbon de bois ou de la terre cuite, d'autre part :

5° Contiguëes et accouplées deux à deux entre deux lits d'oxyde;

6° Accouplées deux à deux et isolées au milieu de l'oxyde.

M. JULLIEN présente ensuite à la Société divers échantillons d'acier en barres étirés au laminoir ou étirés au marteau en *burins* ou *forets*, ainsi que des tôles fines fabriquées par ce procédé.

Il considère la fabrication du fer, et surtout celle de l'acier, comme plus économique par ce procédé que par l'autre, attendu que :

1° Il n'y a pas de corroyage, c'est-à-dire de doublage et soudage, par conséquent pas de déchet;

2° Les oxydes métalliques sont peu coûteux, et il en faut une faible proportion pour opérer la décarburation;

3° Le chauffage des caisses à cémenter peut avoir lieu par la chaleur perdue des fours dormants, servant au chauffage des platines cémentées, soit pour le laminage en tôles fines, soit pour le laminage en barres.

L'acier, par ce procédé, doit coûter moins cher au fabricant que le fer produit de la même manière et avec la même fonte, attendu que la durée de la cémentation, pour obtenir du fer, est double de celle nécessaire pour obtenir de l'acier.

M. JULLIEN termine en exposant une théorie des effets chimiques extraordinaires qui se manifestent pendant la cémentation, ainsi que des phénomènes naturels, non encore expliqués, qui lui paraissent devoir se rattacher au même principe que la décarburation de la fonte par cémentation dans les oxydes métalliques.

SÉANCE DU 17 SEPTEMBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

L'ordre du jour appelle la lecture d'une note de M. Jules Poirée (ingénieur des ponts et chaussées), sur la résistance à la traction des wagons à freins.

Ces expériences ont été faites au chemin de fer de Lyon, et ont eu pour but de mesurer la résistance à la traction des wagons lorsqu'on serre les freins, c'est-à-dire, quand le frottement de roulement est transformé en frottement de glissement.

UN MEMBRE fait observer que les expériences de M. J. Poirée auraient un caractère plus concluant si elles avaient été faites les roues marchant, parce que, dans ce cas, il ne se forme pas de plats comme quand les roues sont entièrement arrêtées.

M. POIRÉE répond que, dans la première série des expériences, les roues étaient complétement arrêtées ; mais que, dans la seconde, elles pouvaient encore tourner, et que cependant les résultats ont été les mêmes dans les deux cas. Il y a un fait remarquable, c'est que, dans une expérience de 1,600 mètres, l'effort de traction mesuré au dynamomètre n'a pas varié.

UN MEMBRE regarde ces expériences comme tout à fait concluantes ; il en résulte que, quand la vitesse diminue, l'action des freins est plus énergique qu'au commencement de leur action ; c'est ce qu'il a souvent remarqué, dit-il, dans l'arrêt d'un train.

Dans ces circonstances, les lois sur le frottement sont bouleversées, et alors les frottements ne sont plus indépendants, ni des surfaces, ni des vitesses. Comme le dit la théorie, il y a dans le fait de l'arrêt une pénétration, un arrachement de molécules qui changent les conditions normales.

UN AUTRE MEMBRE ne partage pas cette opinion ; il a remarqué qu'à l'origine des chemins de fer, quand les wagons ne portaient pas de tampons de choc, qu'on fermait le régulateur de la machine, et qu'on serrait le frein du tender, à ce moment même il résultait du ralentissement un choc des wagons les uns sur les autres, choc très violent quand les trains étaient considérables. L'action du frottement de l'arrêt se faisait donc immédiatement sentir, si bien que, pour éviter ces chocs, les ordres étaient donnés pour arrêter les freins des wagons avant de fermer le régulateur et de serrer le frein du tender.

Si aujourd'hui, où tous les wagons sont munis de ressorts de choc, on ne s'aperçoit pas immédiatement de l'effet des freins, il ne faut l'attribuer qu'à la quantité de mouvement que les trains possèdent et qui ne peut être annulée que progressivement.

M. LE CHATELIER trouve les expériences de M. J. Poirée également concluantes ; elles s'accordent avec les faits qu'il a observés. Cependant, il croit que l'action du frottement développée par les freins est plus intense à la fin qu'au commencement de son action. Il serait à désirer que M. Poirée fît une expérience de l'effort de traction sur un train de marchandises de 25 wagons, par exemple, en plaçant le wagon frein à l'arrière, et le dyanomètre entre ce wagon et celui qui le précède. Il serait intéressant de voir dans ces conditions les variations de la courbe représentative des efforts de traction.

Il fait observer que, dans ces expériences, M. Poirée n'a pas défalqué de l'effort de traction due au frottement seul la résistance du vent qui varie avec la vitesse. Cette défalcation diminuerait encore le chiffre représentatif de la valeur du frottement.

UN MEMBRE pense que le choc qu'on éprouve quand on ferme le régula-

teur tient plus à la résistance qu'oppose la machine elle-même, qu'il ne tient à l'arrêt des wagons.

UN AUTRE MEMBRE répond que, dans son observation ci-dessus, il n'a voulu établir que ce point, sur lequel il n'a pas le moindre doute, c'est que le frottement développé au commencement de l'action des freins est le même que celui qui agit à la fin.

On combat l'opinion émise par M. Poirée, que l'intensité des chocs augmente avec la vitesse ; l'inverse se fait cependant sentir aux arrêts où à mesure que le train se ralentit le passage sur les joints des rails est tel qu'on peut les compter ; ceci n'arrive pas quand les trains sont en vitesse.

M. LE CHATELIER explique, par les chocs des roues sur les rails, le mouvement que les rails tendent à prendre ; il résulte en effet de ce choc, qui a toujours lieu à chaque joint sur le rail d'avant, une pression oblique qui se décompose en deux, verticale et horizontale, et c'est celle-ci qui imprimerait au rail son mouvement de translation, mouvement qui est facilité par le plus ou moins grand relâchement des coins.

On répond à cette opinion par ce fait : c'est qu'au chemin de Saint-Etienne les rails des deux voies marchent dans le même sens.

M. MOLINOS donne ensuite communication d'une note sur le monte-charge hydraulique établi par M. Eug. Flachat au chemin de fer de l'Ouest.

SÉANCE DU 1er OCTOBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. LE GÉNÉRAL MORIN demande à faire quelques observations sur les résultats des expériences de M. Poirée, relatives à la résistance à la traction des wagons à frein. Il n'a rien à objecter aux *résultats*, mais il désire appeler l'attention sur les *circonstances* de ces expériences.

On peut dire, en général, qu'il est bien peu de lois de physique mécanique qui restent vraies et exactes lorsque l'on ne se trouve plus dans les conditions qui ont servi à les établir. — Ainsi, de nombreuses expériences ont prouvé que la résistance de l'air était proportionnelle au carré de la vitesse. Cela est certainement vrai pour un mouvement uniforme ; mais la loi ne se vérifie plus lorsqu'il s'agit d'un mouvement variable ; il faut alors y introduire un terme nouveau, proportionnel au rapport de l'accroissement de la vitesse à l'élément accélérateur ; dans la loi du mouvement des projectiles dans l'air, il faut introduire un terme proportionnel au cube de la vitesse. — Ainsi, la proportionnalité de la résistance de l'eau au carré de la vitesse a été vérifiée, au moyen de projectiles lancés dans l'eau, jusqu'à 500 mètres de vitesse ; cette loi se vérifie aussi pour le mouvement des bateaux dans les canaux, jusque 3m.50 à 5 m. de vitesse, quand le bateau reste horizontal et

quand l'onde est à peu près vers le milieu du bateau ; mais il n'en est plus de même aussitôt qu'il survient une perturbation dans la position de l'onde par rapport à la longueur du bateau. — Ainsi, la résistance des roues à palettes planes est proportionnelle au carré de la vitesse ; cependant, si l'on vient à dépasser certaine vitesse, la loi ne se vérifie plus ; il arrive même que la résistance diminue quand la vitesse augmente ; c'est qu'alors intervient un nouvel élément, le temps ; la roue finit, pour ainsi dire, par tourner dans l'air, le temps manquant pour combler le vide que fait la palette.

Abordant ensuite la question du frottement, M. le général Morin rappelle que déjà, précédemment, un grand nombre de faits avaient prouvé ce que confirment les expériences de M. Poirée, à savoir, que dans certaines circonstances le frottement diminuait avec la vitesse. — Ainsi, M. Morin a trouvé que dans le cas de frottement de surfaces qui se compriment, telles que chêne sur orme (par exemple), la résistance était, au départ, de. 324 kil. 82

En mouvement de. . . 185 »

Différence. . . 139 »

De même, pour des corps enduits, restés quelque temps en contact, les surfaces sont à l'état *onctueux ;* mais lorsque le mouvement a lieu, ces surfaces deviennent parfaitement graissées, et le frottement diminue à mesure que les corps prennent de la vitesse.

Il en est encore de même pour la pulvérisation de la poudre : la résistance diminue quand la vitesse du travail augmente ; c'est que ce dernier se fait au moyen de billes en bronze renfermées dans des tonnes, et que, lorsqu'on fonctionne avec vitesse, ces billes restent appliquées le long de la circonférence du cylindre, au lieu de retomber pour être ensuite relevées. — Les obus à balles, lorsqu'on opère avec une force d'impulsion considérable, offrent encore un exemple frappant : ils ne lancent plus qu'une seule masse de plomb ; les balles font corps.

Il doit y avoir et il y a quelque chose d'analogue pour les trains de chemins de fer. A grande vitesse, il y a moindre résistance de la part des wagons à freins, parce que les mouvements vibratoires diminuent, et qu'il y a par conséquent moins de travail moteur de consommé.

M. POIRÉE fait observer qu'en effet, quand les ressorts étaient calés, le wagon sur lequel il expérimentait se comportait comme un *traîneau.*

M. LE GÉNÉRAL MORIN appelle l'attention sur ce dernier fait, qui lui semble donner la clef de la dérogation apparente que l'on a signalée à la loi du frottement. Ce sont, pour ainsi dire, des causes accidentelles qui venaient s'interposer, à savoir, les oscillations du train, et aussitôt ces causes disparues par l'action d'une grande vitesse d'impulsion, le train agit comme un traîneau, et, chose remarquable, donne alors des résultats à peu près identiques avec ceux qu'on obtient avec un traîneau véritable à petite vitesse.

A la grande vitesse de 20 m., M. Poirée a obtenu le chiffre de 0.132 pour le rapport du tirage au poids remorqué ; or, en expérimentant avec un traîneau (fer sur fer) sur une surface de contact de 3 déc. c. sans enduit, M. Morin a trouvé, il y a long-temps, et pour des vitesses de 3 m. à $3^{m}.50$, le chiffre de 0.138.

Il est probable que, si l'on continuait les expériences de M. Poirée à des vitesses de 30 et 40 m., le fait de la diminution de la résistance à mesure que la vitesse augmente ne se confirmerait pas.

Il est évident, pour conclure, qu'opérant avec des corps toujours plus ou moins imparfaits, et dans des conditions et circonstances toujours plus ou moins différentes, les lois absolues ne peuvent point se vérifier complétement et toujours.

UN MEMBRE est d'avis que l'intervention des vibrations peut expliquer, en partie, cette plus grande résistance des wagons à freins, lorsque la vitesse de marche augmente ; cependant il y a dans la série des phénomènes que présente l'action du frein quelques faits dont il faut sans doute chercher la cause ailleurs.

Ainsi, il a observé qu'un wagon dont les essieux étaient directement chargés d'un poids accessoire de 2,000 kil. environ ne donnaient que des vibrations insensibles sous l'action du frein, tandis que les vibrations se faisaient très sensiblement sentir en l'absence de ce poids, plus fortes, il est vrai, au moment d'arrêter qu'en vitesse.

Ayant fait récemment serrer le frein, la machine étant lancée, il a observé que des étincelles jaillissaient à l'instant ; mais que ces étincelles allaient en diminuant constamment jusqu'au moment de l'arrêt des roues. Cet essai a été recommencé plusieurs fois et a toujours donné les mêmes résultats.

Ne serait-ce pas qu'à grande vitesse la décomposition du fer et la fusion des particules enflammées qui sont produites occasionnent une certaine onctuosité et donnent lieu à un certain frottement?

Quoi qu'il en soit, il résulte des expériences de M. Poirée des conséquences intéressantes. Ainsi, personne ne savait que la résistance des wagons à freins pouvait aller jusqu'au quart du poids remorqué. C'est là un fait capable de rassurer les esprits, quant aux difficultés que présente l'arrêt des trains ; il est certain maintenant qu'en étendant l'usage du frein, on peut disposer au besoin d'une puissance plus que suffisante.

UN MEMBRE fait observer qu'outre l'avantage qu'offrent les grandes vitesses de diminuer le frottement, il semble résulter de quelques observations qu'il a faites, il y a plusieurs années, en voyageant sur les chemins de fer anglais, que le *lacet* allait jusqu'à disparaître en certaines circonstances, lorsque l'on marchait à grande vitesse, qui, à cette époque, était de 50 à 60 kilom.

UN AUTRE MEMBRE répond qu'il est prouvé par l'expérience qu'au contraire le lacet augmente avec la vitesse. Des voitures qui ne lacent pas à 40 et à 60 kilom. lacent presque infailliblement à 80 kil.

Selon lui, le lacet est dû principalement au jeu dans les boîtes à graisse, et il augmente avec la vitesse au point de devenir insupportable lorsqu'il n'y a pas de grands écartements.

Revenant à la question du frottement, il pense que l'échauffement des parties en contact ne laisse pas que d'avoir une grande influence ; au frottement proprement dit, vient s'ajouter l'*usé* de la matière.

M. BERTOT est d'avis que l'influence de la vitesse sur le frottement des wagons sur chemins de fer s'explique par ce fait bien connu, qu'il faut un certain temps aux vibrations pour se propager ; le polissage de l'acier n'est

possible que parce que les molécules sont arrachées avant que cette propagation ait eu lieu. Par assimilation, lorsqu'il y a grande vitesse sur un chemin de fer, on doit se trouver dans les mêmes conditions que s'il n'y avait pas vibration.

M. LE GÉNÉRAL PONCELET fait observer que le *ton* d'une corde ne dépend pas de la vitesse de l'archet; on peut dire, en général, que l'intensité des vibrations dépend plutôt de la constitution moléculaire que de la vitesse.

Il faut admettre, car le fait a été surabondamment prouvé, que le frottement est indépendant de la vitesse lorsque l'on reste dans certaines circonstances.

En Angleterre, M. Rennie est arrivé à des formules long-temps admises, et qui auraient pu conduire à des conséquences bien erronées sans les expériences si concluantes de M. Morin; c'est que, pour déterminer ces formules, M. Rennie s'était mis dans des conditions anormales; dans ses essais, les surfaces en contact étaient corrodées.

UN MEMBRE rappelle un fait tout récent qui s'est passé au chemin de fer du Nord; c'est une voiture de pierres qui a été littéralement traversée par une locomotive. Or le conducteur, en apercevant cet obstacle, avait serré son frein; mais le frein n'a pas agi, la vitesse étant trop grande; l'action ne s'en est fait efficacement sentir que lorsque la machine a ralenti.

UN AUTRE MEMBRE répond que le fait cité a été observé depuis long-temps, mais qu'il y a là peut-être plutôt une question de quantité de mouvement que de frottement. Le point capital qui ressort des expériences de M. Poirée, c'est la diminution du frottement à mesure que la vitesse augmente.

UN MEMBRE, répondant aux considérations précédemment émises sur les causes déterminantes du lacet, fait observer qu'il n'est pas exclusivement dû au jeu dans les boîtes à graisse; car il existe des voitures à huit roues, avec du jeu, qui ne lacent nullement. Il pense que le lacet est produit quand les tampons ont perdu leur contact.

UN MEMBRE répond qu'au jeu dans les coussinets viennent s'ajouter un grand nombre de causes, telles que la conicité des roues, le malmontage des essieux, et beaucoup d'autres encore; mais que le motif le plus ordinaire, c'est le jeu des boîtes. Il est rare qu'en changeant les coussinets d'une machine, on n'en voie point cesser le lacet.

UN AUTRE MEMBRE signale ce fait, qu'au chemin de fer du Nord on a augmenté le lacet en augmentant de 1/20 à 1/10 la conicité d'une des paires de roues d'une machine *Crampton*.

SÉANCE DU 15 OCTOBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

UN MEMBRE demande à revenir sur la discussion qu'a soulevée le mémoire de M. J. Poirée. Selon lui, on peut se rendre compte du phénomène

d'une diminution de frottement concordant avec une augmentation de vitesse, par la formule bien connue de $e = f\frac{gt^2}{2}$ laquelle résulte d'une pression P sur le rail qui en éprouve une certaine courbure, et dans laquelle e représente la flèche de cette courbure et f un certain coefficient dépendant de la résistance de la matière du rail. Si t, c'est-à-dire le temps pendant lequel s'exerce l'action, est très petit, e devient lui-même très petit, c'est-à-dire que la tendance du rail à se redresser (ou ses vibrations) devient très faible.

Il est bon de faire observer qu'il faut distinguer la pesanteur de la pression. La pesanteur est une, constante; mais la pression, en vertu de la formule qui vient d'être rappelée, est proportionnelle au carré du temps pendant lequel le corps en mouvement séjourne sur le point comprimé. De là, et de la formule élémentaire $v = \frac{E}{t}$ dans laquelle E représente l'espace parcouru dans le temps t, il résulte que e, et par suite la pression, ainsi que le frottement qui est proportionnel à cette dernière, sont en raison inverse du carré de la vitesse de translation.

UN MEMBRE répond que la formule qui vient d'être établie ne peut suffire à donner la clef des grands écarts que signalent les expériences de M. Poirée, dans la résistance des wagons; ainsi, pour de petites vitesses, cette résistance a varié du simple au double, de 0,11 à 0,25 du poids remorqué; d'autre part, les vitesses extrêmes des expériences de M. Poirée, introduites dans cette formule, donneraient, pour les valeurs correspondantes de e, un écart plus grand que celui qu'on a obtenu expérimentalement. Il y a donc des circonstances accessoires qui sont de beaucoup plus importantes, et ôtent de sa signification à la formule précitée.

UN AUTRE MEMBRE décompose la question de la variation des pressions, relativement à la vitesse, en deux autres.

L'une d'elles, celle de la flexion des rails, étant résolue expérimentalement, rien de plus facile que de résoudre l'autre, c'est-à-dire de déterminer les pressions verticales. S'il s'agit, pour plus de simplicité, d'une roue dont le centre de gravité soit situé sur l'axe de figure et que l'on projette le mouvement sur un axe vertical, on aura, par une formule élémentaire: $M\frac{dv}{dt} = P - R$. M et P désignent la masse et le poids de la roue, R, la réaction exercée par le rail de bas en haut, réaction égale et opposée à la pression qu'il s'agit d'évaluer; $\frac{dv}{dt}$ est l'accroissement de vitesse verticale du centre de gravité de M. D'ailleurs z étant l'ordonnée de M, compté d'un plan fixe horizontal dans le sens de la pesanteur, on a $v = \frac{dz}{dt}$. La quantité $\frac{dv}{dt}$ ou $\frac{d^2z}{dt^2}$ peut être censée obtenue par la voie expérimentale.

Si le mouvement de translation du centre de gravité est horizontal, et que le rail soit supposé rigoureusement inflexible, $\frac{dv}{dt}$ est nul et l'on a $R = P$;

c'est-à-dire que le rail supporte une pression simplement égale au poids du mobile, quelle que soit sa vitesse. Mais si le rail fléchit entre les traverses, l'ordonnée z croît et décroît alternativement, ce qui rend les valeurs de $\frac{dz}{dt}$ ou de v successivement positives et négatives; il en résulte que $\frac{dv}{dt}$ et par suite la valeur de la réaction R, que donne l'équation ci-dessus, sont des quantités variables.

Quant à la question de fixer par la théorie la manière dont la pression R varie avec la vitesse, il y aurait à traiter le problème du mouvement oscillatoire du rail, soumis à l'action d'une force inconnue R, dont le point d'application se déplace suivant une loi censée donnée. En joignant les équations de ce problème à celle qui vient d'être présentée, on aurait le moyen de déterminer à la fois la loi de variation des pressions et celle des oscillations du rail.

Il est ensuite donné lecture d'une note de M. *Lemoinne* (membre de la Société, ingénieur au chemin de fer de Strasbourg), *sur les plateaux-coussinets en fonte substitués aux traverses et coussinets ordinairement employés dans la construction des voies de fer.*

Les conclusions de cette note, basée d'ailleurs sur une application de ce système sur 2,000 mètres de longueur de voie, près de Bar-le-Duc, sont que, s'il présente quelques inconvénients, d'une importance secondaire d'ailleurs, ces inconvénients pourraient disparaître presque entièrement par l'augmentation du poids des plateaux et de leur surface d'assise et par l'adoption d'une forme plus rationnelle.

UN MEMBRE appelle l'attention de la Société sur l'extension de l'emploi de la fonte dans l'assiette des chemins de fer. En Angleterre, le rapport qui existe entre les prix de la fonte et ceux du fer est favorable à ce dernier. C'est de là en partie que proviennent les progrès du rail Barlow. En France, c'est le contraire; et si le prix de la première de ces deux matières vient encore à baisser, nul doute qu'elle ne puisse jouer un rôle important dans la voie. La question des coussinets-plateaux offre, en particulier, un grand intérêt, et il serait utile de réunir tous les renseignements possibles, non seulement sur les plateaux en fonte, mais encore sur ceux en bois.

UN AUTRE MEMBRE rappelle que, sur le chemin de fer du Nord, on a fait des essais comparatifs entre la voie ordinaire et la voie sur plateaux en bois, *système Pouillet*. Ce système se comporte aussi bien que le système ordinaire; mais, autant qu'il est possible d'en juger quant à présent, la dépense d'entretien est plus forte.

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion du mémoire de M. Love, sur la résistance du fer et de la fonte.

M. BERTOT est d'avis que M. Love a attribué une importance trop grande aux expériences faites en Angleterre. Ainsi, ces expériences sont loin de contredire radicalement la loi suffisamment exacte pour la pratique, et jusqu'alors admise, que, dans certaines limites, le fer et la fonte, soumis à la traction, s'allongent régulièrement et proportionnellement aux charges. M. Love le reconnaît lui-même pour le fer, en disant qu'en pratique cette

loi peut être affirmée pour des charges allant jusqu'à la moitié de celle qui produirait la rupture.

Il n'est pas exact de prétendre qu'on ait admis, en France, que, sous une même charge, *le fer s'allonge plus que la fonte*, et l'on ne doit pas dire que M. Hodgkinson ait établi comme fait nouveau, résultant de ses expériences, que *la fonte s'allonge plus que le fer* dans cette circonstance. Les divers auteurs qui ont traité de la résistance des matériaux ont toujours représenté par 20,000 kil. et 12,000 les *modules d'élasticité* respectifs du fer et de la fonte, le centimètre carré étant pris pour unité de section ; or, on sait que le module d'élasticité représente la charge capable de doubler la longueur d'une barre, dont la section serait égale à l'unité, les allongements étant supposés constamment proportionnels aux charges qui les produisent ; il était donc bien établi, avant les expériences de M. Hodgkinson, que la fonte s'allonge plus que le fer, à égalité de charge par unité de section.

Quant à la limite d'élasticité, M. Hodgkinson conclut de ses expériences qu'on s'est fait illusion en croyant pouvoir la fixer ; mais ces expériences peuvent-elles détruire les faits observés par les expérimentateurs qui ont précédé M. Hodgkinson?

Le mémoire de M. Love conclut aussi, des expériences faites en Angleterre, qu'il est faux qu'il existe un point où l'action de la charge prolongée augmente sans cesse l'allongement et finisse par provoquer la rupture ; mais aux expériences de M. Hodgkinson on peut opposer les résultats contraires observés par M. Vicat.

S'appuyant sur les expériences de M. Hodgkinson, relatives à la résistance des piliers, M. Love présente comme un fait nouveau que, lorsqu'on dépasse, pour les piliers, une longueur égale à trente fois le diamètre, le fer résiste mieux que la fonte. Suivant M. Love, l'opinion contraire était admise. Or, MM. Navier et Poncelet citent des expériences de Rondelet et de Rennie, qui, depuis long-temps, ont fait connaître la supériorité de la résistance du fer sur celle de la fonte pour des piliers dont la hauteur excède environ trente fois la longueur du diamètre.

En général, le mémoire a pour tendance de sacrifier les auteurs français aux expérimentateurs anglais, qui sont loin d'avoir infirmé les principes émis par les premiers. Ainsi, le coefficient 1/3, que M. Hodgkinson propose en remplacement du coefficient 1/6 dans la formule qui donne la résistance à la rupture par flexion d'un prisme rectangulaire, n'avait-il pas été déjà trouvé par Mariotte? Navier avait déjà fait observer que la formule ainsi modifiée fournissait des résultats concordant avec ceux de l'expérience.

La théorie de M. Cox sur la flexion d'un pont sous le passage d'une charge en mouvement apprend-elle quelque résultat qui n'ait été développé par MM. Navier et Poncelet?

M. LE GÉNÉRAL PONCELET ne croit pas que les expériences de M. Hodgkinson soient suffisantes pour donner la certitude que la fonte s'allonge beaucoup plus que le fer. A ces expériences on peut en opposer de beaucoup plus précises, celles de M. Ardant, qui soumit des prismes à des charges croissantes agissant verticalement, tandis que des appareils spéciaux mesuraient l'allongement.

Passant à la question de la limite d'élasticité, le général Poncelet rappelle que c'est M. Tredgold qui, le premier, a eu l'idée de supposer que l'élasticité s'énervait au delà d'une certaine limite. C'est une idée heureuse; il est en effet plus rationnel de se servir d'un coefficient d'élasticité que d'un coefficient de rupture ; il n'y a point de rapport entre la charge de rupture et celle d'allongement. En ce qui concerne la détermination de ce coefficient, il peut y avoir matière à contestation. M. Tredgold a énoncé que la limite correspondait au tiers du poids de rupture; mais M. Poncelet a démontré qu'il fallait doubler ce chiffre.

Maintenant, peut-on dire qu'en France on ait admis en principe une *limite d'élasticité?* La permanence de l'allongement y est connue depuis long-temps; et M. Poncelet, dans son ouvrage, a donné des courbes qui, continues et concaves, dès l'origine, s'accordent à prouver que l'allongement a lieu dès les plus petites charges et avec permanence. Ces mêmes courbes font voir que l'allongement n'est pas proportionnel aux charges, mais qu'il s'en faut d'une fraction négligeable en pratique.

UM MEMBRE fait observer que la discussion doit porter sur le point capital qui ressort des expériences de M. Hodgkinson et du mémoire de M. Love, à savoir : que les lois qui régissent l'allongement sont communes à la compression ou raccourcissement et à la traction ou allongement. Avant ces expériences, les ingénieurs étaient portés à suivre l'exemple de Stephenson qui, supposant que les chemins parcourus par une pièce soumise à la compression étaient plus petits que si elle eût été sollicitée par la traction, établissait des rapports de 3 1/2 à 5 entre les sections du métal soumis à ces deux genres d'efforts.

Depuis que les expériences de M. Hodgkinson, dont M. Yvert a déjà fait connaître quelques résultats dans son ouvrage sur les ponts tubulaires, ont été mises complétement au jour par le travail de M. Love, il y a tendance à revenir à la figure d'égalité pour les deux sections.

M. LE GÉNÉRAL PONCELET est d'avis qu'il était de la plus haute importance de s'assurer si la résistance à l'extension est ou n'est pas plus grande que la résistance à la compression; et il fait remarquer, d'ailleurs, que jamais la théorie n'a refusé d'admettre que les deux natures de résistance eussent la même virtualité; mais qu'il ne faut pas pour cela avoir une confiance absolue dans les expériences de M. Hodgkinson, et qu'en pareille matière il faut être assuré que la plus grande précision a présidé aux essais.

On a déduit avec une grande précision, en ces derniers temps, le coefficient d'élasticité d'après les vibrations; mais cette méthode n'est applicable qu'aux plus petits allongements; il n'est pas impossible que tout change lorsqu'on opère avec de grands poids et qu'on arrive jusqu'à celui de rupture; la fibre neutre peut être placée différemment pour une charge simple que pour une charge décuple.

M. SCIAMA (ingénieur des ponts et chaussées) rappelle qu'on a fait en France des expériences sur le fer et sur le bois avec des charges assez considérables; c'est Duhamel qui a expérimenté le bois; mais tous ces essais ont été faits assez grossièrement.

UN MEMBRE, traçant l'historique des faits qui ont conduit aux formes actuellement admises, rappelle qu'en Angleterre l'usage avait fait prévaloir

une poutre d'une forme irrationnelle, composée de fonte et de fer, pour laquelle les attaches n'étaient pas dans la direction des forces sollicitantes; des accidents en résultèrent; le Parlement s'en émut, ordonna une enquête, et avant la fin de cette enquête, tous les ponts construits sur ce principe avaient disparu; on ne retrouve plus cette poutre défectueuse que dans des ouvrages de cette époque.

On étudia avec soin la question des formes, et l'on se demanda si dans des poutres soumises à la fois à la compression et à la traction les espaces parcourus sous l'empire de ces deux efforts étaient réellement différents.

C'est alors qu'intervinrent les expériences d'Hodgkinson, expérimentateur habile, persévérant, savant très distingué et disposant de toutes les ressources de la science, qui détermina les figures de rupture correspondant à des efforts variés, et conclut à l'égalité des espaces parcourus sous la sollicitation des efforts des deux natures.

Les résultats des expériences d'Hodgkinson devaient avoir et ont eu une grande influence sur les ingénieurs qui s'occupent de constructions.

M. Stephenson, persuadé que le ciel du pont de Menai se comprimerait plus que la partie inférieure ne s'allongerait, a réparti sur le premier un excédant de poids considérable, au grand détriment du prix de revient; mais, depuis les expériences d'Hodgkinson, il semble avoir regretté de ne pas avoir adopté des sections égales. Fairbairn, qui a précédé Hodgkinson, est formel, et affirme que le fer résiste moins à la compression qu'à la traction; Clarke, qui vient après Hodgkinson, est déjà beaucoup moins affirmatif.

Quant à lui, il n'a cessé de lutter contre les coefficients trop bas, adoptés par les corps savants qui dirigent en France les travaux publics; il ne saurait accueillir avec trop d'intérêt et d'approbation les expériences pratiques qui nous viennent d'Angleterre et qui, prouvant qu'on peut arriver plus près des limites de déformations qu'on ne l'a fait jusqu'ici, auront pour résultat d'économiser des poids considérables et inutiles.

LE GÉNÉRAL PONCELET fait remarquer que la France a, la première, donné l'exemple des expériences, sur une petite échelle, il est vrai; mais, à cet égard, l'Angleterre ne doit qu'à ses capitaux l'avantage qu'elle a pris sur nous. Il insiste vivement sur la nécessité d'entrer pleinement dans cette voie expérimentale.

UN MEMBRE fait l'objection suivante au mémoire de M. Love, dans lequel il est dit que la vitesse augmente considérablement l'effet d'un poids donné, et qu'on a trouvé par expérience qu'une charge de 805 kilog. à la vitesse de 48 kilomètres à l'heure suffisait pour rompre des barres, tandis qu'au repos il fallait une charge de 1,880 kilog. pour produire le même effet; on lit plus loin, dans le même mémoire, qu'aucune vitesse possible de la charge ne pouvait lui faire exercer une pression double de celle qu'elle produit à l'état statique.

M. LOVE fait observer que pour rendre la discussion plus précise et plus fructueuse, il eût été à désirer que M. Bertot lui eût communiqué d'avance la note des divers points sur lesquels il avait l'intention de l'interpeller; ou mieux encore, comme ces points paraissent assez nombreux, quoique d'une importance secondaire, il aurait pu les présenter sous forme d'un contre-

mémoire, de manière que des deux parts les points de dissidence eussent été nettement et clairement posés pour tout le monde. — Dans l'état actuel des choses, c'est tout au plus si M. Love se souvient de deux ou trois des nombreuses observations présentées par M. Bertot. Il répondra à celles-là d'abord, quitte à revenir plus tard sur celles qu'il aurait oubliées.

M. LOVE maintient qu'en ce qui concerne la proportionnalité de l'allongement à la charge, les nouvelles expériences établissent un point de démarcation avec ce que l'on croyait auparavant.

Atténuer la différence pour le fer dans certaines limites n'est pas reconnaître que le fait de la non-proportionnalité n'existe pas. — Il faut dire ce qui est, et laisser à chacun le soin de juger par lui-même. Dans la fonte, d'ailleurs, il n'y a aucune atténuation possible, et la proportionnalité de l'allongement à la charge n'existe à aucun degré que ce soit : aussi M. Bertot s'est bien gardé d'en parler, dans la crainte, sans doute, d'affaiblir ses observations sur ce point.

Quant à la question de la *limite d'élasticité* elle a été posée par Tredgold dans son *Essai sur le fer coulé*, et tous les poids donnés par ses formules sont, d'après cet auteur, ceux que les solides peuvent porter, sans danger de dépasser cette *limite d'élasticité*. Pendant long-temps, et jusqu'à une époque très rapprochée de nous, les ingénieurs, aussi bien en France qu'en Angleterre, n'ont pas eu recours à d'autre formulaire pratique, et l'on peut par conséquent dire qu'ils avaient adopté la manière de voir de Tredgold.

Dans la question de la résistance des solides à l'effort transversal, Mariotte avait-il réellement découvert que le coefficient 1/3 avait été substitué au coefficient 1/6? Navier avait-il reconnu la concordance de ce résultat avec l'expérience? M. Love confesse ignorer cette particularité, sur laquelle il voudrait être édifié d'une manière plus précise. — Dans tous les cas, il est au moins étonnant qu'il n'en soit rien dit dans les traités les plus récents sur la matière, et qui sont censés résumer exactement l'état de la question. — D'ailleurs les observations présentées dans le mémoire de M. Love ne s'appliquent pas à Navier, que les praticiens délaissent complétement, mais à l'*Aide-Mémoire* de M. Claudel et à la *Mécanique industrielle* de M. Poncelet, qui sont les seuls auteurs actuellement entre les mains des ingénieurs français.

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

UN MEMBRE demande à compléter les explications qu'il a données dans la séance précédente au sujet de la variation des pressions exercées par un véhicule en mouvement sur les rails d'un chemin de fer, et qui proviennent

de la flexion des rails et des ressorts de suspension. Ce n'était là qu'un détail de la question soumise à la discussion, question ayant pour objet l'efficacité des freins que l'on supposait dépendre de la vitesse.

Il s'est occupé de cette question ; mais avant d'indiquer les résultats auxquels il est parvenu, il précise la question en ces termes :

Supposons, pour simplifier l'exposé, qu'il s'agisse d'un véhicule de poids P circulant sur une voie horizontale, et animé d'une vitesse de translation V_0 au moment du serrage des freins ; admettons que le mouvement de rotation de toutes les roues ait été détruit, soit V la vitesse après un parcours X effectué depuis le serrage des freins, *f* le coefficient du frottement de glissement sur les rails. Si la vitesse ne devait avoir aucun effet sur la pression, cette dernière serait égale au poids du véhicule, et l'équation des forces vives donnerait :

$$\frac{P}{G}\left(\frac{V_0^2-V^2}{2}\right)=f\,PX \quad \text{d'où} \quad V_0-V=\frac{f\,G\,X}{\frac{1}{2}(V^0+V)}$$

équation qui détermine la vitesse après un parcours X, ou la réduction de vitesse (V_0-V) après ce parcours, en fonction de la moyenne $\frac{1}{2}(V^0+V)$ des vitesses extrêmes. Il s'agit de savoir si cette expression subsiste, au moins approximativement, quelle que soit la vitesse, ou plus exactement, lorsqu'au lieu du poids P, qui sert ici de mesure aux réactions verticales, on introduit les vraies valeurs de celles-ci. Ces réactions dépendent à la fois de la flexion des rails et de celle des ressorts de suspension.

Après en avoir fait le calcul, il dit que l'expression précédente est encore sensiblement vraie dans ces circonstances (on ne tient ici aucun compte des frottements latéraux des boudins des roues, qui se produisent dans les courbes, et par suite du mouvement de lacet) ; les quantités négligées répondent au travail de la pesanteur sur le véhicule. Or, les différences de niveau des positions extrêmes du centre de gravité produites par les flexions donnent lieu à un travail négligeable par rapport à celui du frottement, pour peu que le chemin X comprenne deux ou trois fois l'intervalle des traverses.

Plusieurs membres ayant manifesté l'opinion que les freins paraissent moins efficaces à de grandes qu'à de petites vitesses, il fait remarquer, en se rapportant à la 2e équation ci-dessus, que, pour un même parcours X, la diminution de vitesse V_0-V est en raison inverse de la vitesse moyenne $\frac{1}{2}(V^0+V)$; ce qui explique parfaitement les faits observés. Au reste, il serait bon de recourir à l'expérience pour vérifier cette théorie.

Le Président invite les membres qui désireraient proposer des changements au règlement à présenter des propositions dans la séance du 19 novembre.

Il lit ensuite les art. 131 et 132 du règlement, ainsi conçus :

« Art. 131. — La révision du règlement ne peut avoir lieu qu'à la fin » de chaque exercice ; et les modifications ne peuvent être votées qu'à l'as- » semblée générale de décembre.

» Art. 132.—Si, dans l'une des réunions de novembre au plus tard, une » proposition à fin de révision de telle ou telle clause du règlement, signée » par cinq sociétaires, a été déposée sur le bureau, la réunion consultée vo- » tera à la majorité simple sur la prise en considération. »

M. BERTOT lit ensuite une note dans laquelle il combat les faits, les formules et les calculs présentés par M. Love ; il cherche en outre à établir que M. Hodgkinson n'a rien indiqué de nouveau, et que tous les résultats qu'il a tirés de ses expériences étaient connus depuis long-temps de tous les savants français.

UN MEMBRE fait observer que M. Hodgkinson se trouve attaqué dans cette discussion. Or, il ne faut pas oublier que M. Love a interprété à sa manière les résultats des expériences faites par M. Hodgkinson; qu'il est donc seul responsable des diverses formules qu'il a données dans son mémoire.

Il a rendu un service incontestable en faisant passer dans notre langue les résultats des travaux de M. Hodgkinson. Ces résultats ont ensuite été interprétés par M. Love, qui en a déduit des conséquences, des formules, qu'il est très bon de discuter. Mais, quant aux expériences de M. Hodgkinson, elles ont été faites sur une grande échelle, avec beaucoup de soin, et tout le monde sait que ce savant étranger, loin de contester le mérite des savants français, est parti des formules des théoriciens français, en considérant comme bon ce que ses devanciers avaient fait, et en cherchant seulement à éclairer les points encore douteux, à agrandir le champ des connaissances actuelles, et, surtout, à donner aux hommes pratiques des bases plus certaines et plus larges dans les nombreuses applications qu'ils sont appelés à faire des métaux dans les travaux d'art de toute nature qui s'exécutent en si grand nombre en ce moment. Nul, jusqu'à ce jour, n'a contredit les faits recueillis par M. Hodgkinson.

Ce sont ces résultats pratiques, ces données d'expériences mises à la disposition des ingénieurs, qui distinguent surtout les travaux de M. Hodgkinson; c'est ce progrès que les savants français n'ont pas fait ni fait faire ; et ce que les ingénieurs leur reprochent surtout, c'est de n'avoir pas mis les résultats de leurs recherches à la portée des hommes pratiques. Ils ont toujours dit que tout était dans leurs formules et qu'il n'y avait plus rien à faire. Cette manière de raisonner a amené cette conséquence déplorable, que tous les corps savants ont imposé à l'industrie française des coefficients très défavorables à l'emploi des métaux ; et c'est là justement le service rendu par M. Hodgkinson, dont les expériences ont démontré que les coefficients imposés par les corps savants français sont trop bas.

Le grand intérêt de la discussion actuelle doit porter sur l'interprétation des travaux de M. Hodgkinson.

M. LOVE étant absent, la suite de la discussion est remise à la séance suivante.

L'ordre du jour appelle la lecture du mémoire de L.-D. Girard, intitulé : *Hydraulique appliquée. — Nouveau système de locomotion sur les chemins de fer.*

L'auteur commence par exposer que son système repose sur le principe de la transmission de la puissance des chutes d'eau aux turbines hydrauliques, qu'il a appelé principe de la déviation libre de la veine liquide, dans ses précédentes communications.

Pour en réaliser l'application, on fixe, sous la ligne des wagons, deux séries rectilignes d'aubes courbes ; l'une qui sert pour la marche en avant, et l'autre pour la marche en arrière.

Le long de la voie règne un gros tuyau en fonte, enterré, mis en communication avec des pompes qui sont mues, soit par des chutes d'eau, soit par des machines à vapeur fixes (Cornouailles), de manière à fournir l'eau à haute pression destinée à faire marcher le convoi. Les machines seront placées à des distances d'environ 20,000 mètres, en moyenne, l'une de l'autre.

Sur ce tuyau sont placées à des distances variables (100 mètres au plus), selon le profil de la voie, des prises d'eau aboutissant chacune à un distributeur à deux becs dirigés en sens opposé. Les jets d'eau lancés par les distributeurs agiront sur la concavité des surfaces courbes en série rectiligne, seront déviés sur ces surfaces d'environ deux angles droits, et pousseront le train auquel ces surfaces sont fixées, suivant la direction du bec ouvert.

On fait connaître, dans le mémoire, le mode d'action des distributeurs pour produire la manœuvre du convoi, pour la marche en avant et en arrière, pour la mise en train ou l'arrêt.

Une vitesse de marche de 20 mètres par seconde correspondant à une vitesse de 40 mètres de l'eau motrice injectée, il y aura une pression effective de 8 atmosphères dans le tuyau. Sous cette pression, un jet de petite dimension, débitant 200 litres par seconde, développera une force de 160 chevaux utiles, suffisante pour un train de voyageurs marchant à 72 kilomètres à l'heure sur un chemin de niveau. Avec cette vitesse de 20 mètres par seconde, le tiroir distributeur doit s'ouvrir dans un dixième de seconde. Le mémoire montre que cette condition peut être remplie sans que l'inertie de la masse d'eau à mettre en mouvement influe d'une manière appréciable sur la vitesse de l'eau injectée pendant cette période de l'ouverture du tiroir.

D'après le principe rappelé ci-dessus, cette vitesse du convoi pourra être maintenue malgré les variations de pression, même considérables, qui pourront résulter du profil en long de la voie.

Les principaux avantages de ce système sont les suivants :

1° La force propulsive, agissant régulièrement et dans l'axe même du convoi, annule les mouvements de lacet et autres, d'où moins de chances de déraillement, moins de fatigues et de dangers pour les voyageurs.

2° La suppression de la locomotive complète toute sécurité à cet égard; cette suppression assure une longue durée au matériel des voies existantes et permettra de faire ce matériel plus léger dans les applications du système proposé.

3° En supprimant les mouvements de lacet et autres, on détruit l'un des obstacles les plus puissants à l'accroissement de la vitesse. On arrive au même but par la suppression du poids mort de la locomotive et de son tender, par la facilité de l'arrêt et la mise en train, par l'absence du temps perdu pour prendre de l'eau et du coke, et enfin par la concentration de la puissance propulsive (à l'aide de prises d'eau suffisamment rapprochées) aux points où se présentent les plus grandes résistances. A cet effet, des réservoirs d'air seront disposés aux endroits convenables pour emmaganiser la force des machines fixes, et assureront la régularité du mouvement des eaux alimentant les distributeurs.

4° Le conducteur du train, placé sur le premier wagon, peut facilement, par une manœuvre analogue à celle d'un gouvernail, produire la marche en avant, la marche en arrière. S'il veut modérer sa vitesse, il peut passer,

sans les ouvrir, un ou plusieurs injecteurs ; il a, indépendamment du frein, un moyen très énergique d'arrêter, en faisant agir l'eau en sens inverse de la marche.

5° Chaque wagon portant ses deux séries d'aubes pour la marche en avant et en arrière, les trains peuvent se composer comme on veut, les manœuvres de gare deviennent faciles, et la plupart des plaques tournantes peuvent être supprimées. Le train peut se diviser sur le parcours ou se grouper au retour très promptement.

6° Par la facilité de parcourir la voie rapidement avec un seul wagon, la surveillance de la ligne est rendue plus aisée et plus efficace.

Le mémoire indique les moyens de parer à tout accident, tels que rupture de tuyau, engorgement par la gelée, dérangement d'un tiroir, etc., sans entraver le service.

Passant ensuite à la comparaison entre le système actuel et le système proposé, en prenant pour exemple la ligne de Paris à Montereau, sur laquelle M. Jules Poirée a fait récemment des expériences, l'auteur établit :

Qu'à égalité de consommation de charbon, on remorquerait sur cette ligne, par la propulsion hydraulique, une charge égale à trois fois et demie celle que l'on remorque aujourd'hui ;

Et que, si le profil de la voie, au lieu de présenter des rampes de $0^{m},005$ au maximum, offrait des rampes de $0^{m},010$, le rapport des charges remorquées serait encore plus considérable.

D'où il suit que, les frais de traction diminuant, on pourra abaisser le prix de transport, par suite activer la circulation et faciliter à un haut degré les transactions commerciales.

L'adoption du chemin de fer hydraulique aurait encore deux conséquences importantes : on pourrait 1° faire des distributions d'eau générales, à haute pression, dans toutes les localités traversées par le chemin de fer, opérations très avantageuses pour les villes auxquelles elles épargneraient les frais d'établissement et d'entretien de machines spéciales ; 2° recueillir l'eau qui a servi à la propulsion, dans les fossés qui bordent la voie, pour l'employer aux irrigations.

UN MEMBRE fait observer que, pour obtenir des vitesses non pas exagérées, mais en rapport avec les exigences actuelles, le système proposé par M. Girard exigerait des pressions d'eau très considérables, par suite, des machines d'une très grande puissance et d'une grande valeur ; que tous les mécanismes employés pour l'ouverture et la fermeture des prises d'eau, pour la marche en avant ou en arrière, éprouveraient des chocs très violents et ne résisteraient pas.

Il fait remarquer que ce système présente les inconvénients de tous ceux où l'on emploie des machines fixes. Les chemins atmosphériques, après de longues expériences, ont été rejetés pour cette raison qu'ils employaient des machines fixes, qu'il fallait employer pour satisfaire à un travail considérable, de manière à traîner les trains le plus lourdement chargés et dans des cas exceptionnels. De sorte que, dans les circonstances ordinaires, les machines étaient beaucoup trop puissantes. Avec ce système, on fait un mauvais emploi de la force, tandis qu'avec des machines locomotives la force est toujours à la disposition de celui qui veut s'en servir, et l'on peut

satisfaire sans excédant sensible de dépense aux plus grands comme aux plus petits trafics.

Quand, au lieu d'employer l'air, on voudrait se servir de l'eau comme moteur, les inconvénients seraient bien plus considérables avec des machines espacées tous les 20 kilomètres ; il faudrait leur donner des forces de 5 à 600 chevaux, et encore ne pourrait-on pas toujours satisfaire aux exigences du service.

Il pense que l'établissement des aubes pour chaque wagon doit entrer en ligne de compte, tandis que M. Girard en fait complétement abstraction dans son estimation.

Il dit ensuite que, dans ce système, il arrive à chaque instant que le moteur, commençant à entraîner le train par la tête, finit par le pousser par la queue. Il croit ce moyen d'agir très dangereux.

Le débit irrégulier de l'eau ou la manière très variable dont ces mécanismes fonctionnent seront une des causes de perte considérable d'effet utile. Les machines de Cornouailles ne donnent de bons résultats que parce qu'elles marchent très régulièrement.

Quant aux détails, il pense que l'installation et l'entretien des mécanismes seraient très coûteux. Les robinets, les vannes, fuiraient facilement, manœuvrés souvent comme ils le seraient sous des pressions de 13 à 15 atmosphères.

M. GIRARD répond aux diverses objections qui viennent d'être soulevées.

S'appuyant en premier lieu sur les résultats des expériences qu'il a faites de concert avec M. Ch. Challon sur les turbines *à libre déviation de la veine*, et dont il a communiqué précédemment à la Société un tableau inséré au compte rendu de l'Académiedes sciences, il explique, par un tracé en grandeur naturelle des courbes des récepteurs appliqués aux wagons, l'action des veines liquides sur ces courbes ; il fait observer que cette action s'exerce nécessairement d'une manière plus favorable sur des surfaces en série *rectiligne* que sur celles des turbines expérimentées, et il montre que, pour une pression de 8 atmosphères, par exemple, la vitesse du train peut varier entre 50 et 100 kilomètres par heure sans que le rendement du récepteur descende au-dessous de 75 1/2 0/0, chiffre sur lequel tous les calculs du mémoire sont basés.

Répondant à l'objection relative à l'ouverture et à la fermeture des tiroirs, M. Girard montre par les plans de détail annexés au mémoire que les chocs qu'il redoute n'existent pas, et qu'un effort tout à fait insignifiant suffit pour opérer la manœuvre de ces organes.

Quant à ce qui a été dit sur l'impossibilité où serait le chemin de fer hydraulique de se plier aussi bien que les locomotives aux exigences variables du trafic, l'auteur du mémoire répond que les calculs qu'il a présentés se rapportent à une circulation variable de 16 à 24 passages, mais qu'il établira par des calculs analogues que son système se prêterait au besoin à une variation de 24 à 96 passages par jour, avec plus d'avantage même que dans le premier cas.

C'est avec intention qu'on a négligé, dans l'appréciation des dépenses, le coût des *récepteurs*, lequel ne s'élève qu'à 250 fr. par wagon. L'auteur pose en fait que cette dépense est bien inférieure à l'économie que

son système apporterait dans l'établissement et dans l'entretien des rails.

Le mode d'attelage indiqué, par imitation de ce qui se fait déjà sur plusieurs chemins de fer, rend sans valeur, selon M. Girard, l'objection faite au mode d'action de l'eau sur les wagons.

Car il est facile de démontrer que la composante normale de l'effort de propulsion dans une courbe de 500 mètres de rayon n'est que les 0,004 de cet effort sur le premier wagon, tandis que la force centrifuge qui a lieu au parcours de cette courbe pour une vitesse de 20 mètres environ par seconde en est au moins le tiers. — Il est d'ailleurs à remarquer qu'à certains égards la situation de la locomotive en avant du train est une mauvaise chose, car elle détermine par son poids énorme une déformation momentanée de la voie, qui, combinée avec le mouvement alternatif des pistons, devient une cause puissante de déraillement.

Quant à l'irrégularité ou discontinuité du débit de l'eau, elle n'affecte en aucune façon le jeu de la machine motrice, puisque celle-ci alimente une vingtaine de réservoirs à air comprimé.

M. GIRARD pense qu'on se fait une fausse idée de la fonction de ces réservoirs d'air ; ils emmagasinent et restituent tour à tour le travail qui leur est confié (à la manière d'un volant de machine à vapeur), précisément afin de satisfaire aux exigences qui font tantôt augmenter, tantôt diminuer la charge des trains. D'ailleurs, qui ne sait que les machines de Cornouailles ont besoin, pour le service des mines, de développer un travail variable, et sont effectivement très aptes à remplir ces conditions?

M. Girard termine en disant qu'il se réfère à son mémoire. Quant à la détermination des dépenses d'installation et d'entretien, il lui paraît que l'objection faite à cet égard n'a pas de portée, puisqu'il a tenu compte de ces dépenses dans l'appréciation des avantages de son système. Quant aux fuites, tout le monde sait bien qu'elles ne sont pas à craindre pour l'eau comme elles le seraient pour l'air. Il est possible que le souvenir du chemin de fer atmosphérique, avec sa fente longitudinale, ne soit pour beaucoup dans les craintes qu'on manifeste à ce sujet.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1852.

Présidence de M. E. FLACHAT.

M. MIRECKI adresse à la Société une lettre dans laquelle il rectifie une erreur qui s'est glissée dans le compte-rendu de la séance du 13 octobre, dans lequel il est dit que l'entretien de la voie du système Pouillet était plus cher que celui de la voie ordinaire ; c'est le contraire qu'il a voulu dire.

M. MANIEL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et ingénieur de la

voie au chemin de fer du Nord, écrit également pour rectifier et préciser les renseignements fournis à la Société sur l'entretien de la voie Pouillet.

Il dit qu'on a établi sur la ligne de Saint-Quentin 4,070 mètres de voie simple du système Pouillet, avec rails de quatre mètres 50 centimètres de longueur, et cinq traverses par longueur de rail. Cette voie est placée à côté d'une autre du système ordinaire, avec rails de même longueur et quatre traverses par longueur de rail.

Ces voies sont en exploitation depuis la fin de mai 1849. Voici jusqu'à présent les résultats observés :

1° La voie Pouillet est meilleure que la voie ordinaire ; les joints en sont parfaits.

2° La dépense d'entretien a été un peu plus forte dans les premiers temps pour la voie Pouillet que pour la voie ordinaire ; mais cela tenait à ce que le chemin est établi en partie sur un coteau assez incliné, et la voie Pouillet se trouve du côté du remblai le plus fort.

A l'expiration des dix-neuf premiers mois d'exploitation, c'est-à-dire en janvier 1851, le prix moyen d'entretien porté à l'année était :

Pour la voie ordinaire, de 288 fr. 11 cent. par kilomètre de simple voie.

Pour la voie Pouillet, de 407 fr. 64 cent. par kilomètre de simple voie.

Depuis janvier 1851, le remblai étant mieux assis, l'entretien de la voie Pouillet n'a coûté en moyenne que.	204f »
par kilomètre de simple voie et par an, tandis que l'entretien de la voie ordinaire a donné lieu à une dépense de.	377 37
Différence en faveur de la voie Pouillet, par kilomètre et par an	173 37

Cet avantage a été obtenu par des progrès successifs, qui ne sont pas encore arrivés à leur terme.

Il y a donc économie incontestable en faveur de la voie Pouillet.

Il ajoute que les cantonniers aimeraient mieux qu'on eût employé une traverse de moins dans ce système : avec cinq supports par rail, les traverses sont trop serrées, et le travail du bourrage est gêné.

Il résulte donc de ces observations que les traverses Pouillet se sont très bien maintenues jusqu'à présent ; l'avenir dira combien de temps cette situation durera encore, et quelles seront, pour l'entretien, les conséquences d'un commencement de dislocation.

Telles sont les observations faites jusqu'à ce jour.

M. POUILLET écrit également dans le même sens ; il ajoute seulement quelques chiffres relatifs à l'entretien de la voie Pouillet sur le chemin de fer de l'Ouest.

Le relevé des dépenses de 1850 est tout-à-fait favorable au système Pouillet, qui n'a donné lieu qu'à une dépense de 285 francs par kilomètre, lorsque la voie ordinaire donnait 702 ; mais cette différence ne sera plus désormais aussi considérable, car on a fait désaboter en 1850 sur la voie ordinaire plus de 100 traverses mal sabotées qui rendaient l'entretien beaucoup plus dispendieux. Si cette cause n'eût pas existé, l'entretien ordinaire aurait

été tout au plus le double de l'entretien de la voie Pouillet ; il y a donc lieu d'admettre cette proportion.

Les coussinets cassés en 1850 sur la voie Pouillet ont été : 6 joints ou 2 1/2 par kilom. ; 3 intermédiaires ou 1 1/4 par kilom.

Les coussinets de la voie ordinaire ont été en nombre assez considérable à cause du désabotage, qui est un fait accidentel.

Ils ont été de 27 joints ; 22 intermédiaires.

De tout ceci il résulte que les expériences sont très favorables au système Pouillet, dont les dépenses d'entretien paraissent être réduites à moitié de celles que présentent les voies ordinaires, ce qui tient d'ailleurs en grande partie à l'extrême précision avec laquelle les inventeurs ont fait le sabotage de leurs plateaux-coussinets.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une demande faite par cinq membres pour la révision des statuts de la Société, comprenant les articles 4, 5, 16, 21 et 25, et pour la révision de quelques articles du règlement qui, renvoyés l'année dernière à MM. Flachat, Vuigner, Polonceau et Callon, ont été corrigés et modifiés.

Ils demandent :

1° L'adoption de membres honoraires ;

2° La création d'une présidence honoraire ;

3° La rééligibilité chaque année de tous les membres du bureau.

La prise en considération de la révision est mise aux voix et adoptée. En conséquence, une commission de cinq membres a été nommée au scrutin secret : elle se compose de MM. *Loustau*, *Polonceau*, *Gerder*, *Yvert* et *Bellier*, qui devront dans la prochaine séance présenter un rapport sur les révisions proposées.

M. LE PRÉSIDENT entretient ensuite la Société du compte-rendu de la première séance de la Société des ingénieurs civils de Londres, où l'on a discuté un travail intéressant sur le *perfectionnement des baies maritimes*.

M. LORENTZ se charge de présenter à la Société la traduction du procès-verbal de cette discussion dans la prochaine séance.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion du mémoire de M. Girard sur les chemins de fer hydrauliques.

UN MEMBRE fait observer que dans ce système il devra résulter nécessairement de la direction de la veine fluide contre les aubes des récepteurs, une composante qui tendra constamment à les pousser contre les rails et à les briser ; il craint en outre que le froid en gelant l'eau n'obstrue les aubes, et que le système ne fonctionne plus, comme cela arrive aux roues hydrauliques.

Il ajoute que cette masse d'eau sera souvent un grand embarras dans les parties où l'on ne pourra l'écouler facilement ; déjà dans de certains points en palier, on a peine, dans le système actuel, à se débarrasser des eaux de source ou des eaux pluviales.

M. GIRARD répond que la composante dont on craint l'influence pourrait être complétement annulée si la vitesse des trains n'était pas variable ; mais qu'au surplus dans cette dernière hypothèse, cette influence se mesure par 1 ou 2 0/0 seulement de la force de traction totale, ce qui est insignifiant,

puisqu'on a établi, dans la discussion de la dernière séance, que la poussée générale dans les courbes est, *pour chaque wagon*, le tiers au moins de la force de propulsion; enfin, il est digne de remarque que deux voyageurs, pesant 10 à 20 kilog. de plus l'un que l'autre, et placés aux deux portières opposées d'un wagon, détermineraient une poussée latérale plus grande que celle que l'on redoute.

Quant au moyen d'empêcher l'eau de geler, M. Girard le trouve dans un bec de gaz qui chauffe les parois du tiroir entourées d'une enveloppe qui y maintient un matelas d'air chaud. Cette source de calorique, jointe à celle que dégagerait le frottement sur les aubes d'une masse d'eau animée d'une vitesse relative d'environ 20 mètres par seconde, suffirait au besoin pour fondre la couche de glace qui recouvrirait les aubes, loin d'en augmenter l'épaisseur. Enfin la température de l'eau de propulsion serait déjà maintenue à un certain degré par le refoulement dans la conduite de l'eau de condensation des machines fixes. Relativement à l'eau rejetée dans les fossés à chaque passage de convoi, il suffit de faire observer qu'elle correspond à peine à une tranche de $0^m.01$ d'eau sur toute la longueur des fossés comprise entre deux injecteurs, ce qui est bien inférieur au produit d'une pluie ordinaire dont la durée serait celle qui sépare deux passages consécutifs.

M. BERTOT fait observer que la vitesse de projection de l'eau n'est pas un moyen suffisant pour empêcher l'eau de geler; ainsi, par exemple, dans les fontaines publiques, la forme parabolique de projection du jet d'eau reste indiquée dans les temps de gelée par une masse de glace.

M. GIRARD répond que, dans son système, la vitesse de projection de l'eau est beaucoup plus considérable que dans les fontaines publiques.

Il dit ensuite : 1° qu'il a laissé entre les injecteurs et les récepteurs fixés sous les wagons un jeu suffisant pour qu'ils ne puissent jamais venir en contact dans les mouvements de lacets;

2° Que le poids du récepteur fixé sous chaque wagon est d'environ cinq cents kilogrammes (500 kilog.).

On fait observer que la tendance actuelle dans la construction du matériel est d'augmenter beaucoup la capacité des voitures et de réduire ainsi la longueur des trains; en conséquence, le système de M. Girard, qui puise une partie de sa puissance dans l'étendue même des trains par la longueur de l'injecteur, se trouvera en contradiction avec le principe économique de trafic.

M. GIRARD, répondant à cette observation, fait remarquer qu'il est facile d'y avoir égard en rapprochant les injecteurs. Mais il ajoute aussitôt que, si l'on voulait faire marcher les lourds trains de marchandises plus lentement que les trains de voyageurs, on se trouverait déjà dans d'excellentes conditions sans rien changer à l'écartement des injecteurs : car, étant donnés, d'une part, un train de marchandises de 100 mètres de long, pesant 200 tonnes et marchant à 36 kilomètres à l'heure, et, d'autre part, un train de voyageurs de même longueur, mais ne pesant que 100 tonnes et animé d'une vitesse de 72 kilomètres, il résulte du principe même de propulsion exposé dans le mémoire qu'on satisferait à ces conditions si diverses sans que l'effet utile descendît au dessous de 75 0/0.

On fait observer que, la largeur d'introduction des aubes étant de 7 centi-

mètres et la vitesse des trains de 40 mètres par seconde, il en résultera que chaque aube présentera son orifice d'introduction devant le jet dans 1/570e de seconde ; or il est difficile d'admettre qu'à cette vitesse l'eau puisse pénétrer dans les aubes et les remplir.

M. GIRARD répond qu'il ne comprend pas du tout cette observation.

On cite cet exemple bien connu d'une conduite d'eau alimentée par un réservoir élevé et terminé par un disque percé de trous et auquel on imprime un mouvement rotatif, et où l'on observe que l'eau s'élève d'autant moins que la vitesse de rotation du disque est plus grande. C'est évidemment parce que l'inertie de l'eau s'oppose à l'établissement de l'écoulement permanent résultant de la pression. Ce fait explique assez ce qui se passerait dans le système de M. Girard.

M. GIRARD répond que l'expérience citée, dans laquelle un orifice était bouché et débouché plusieurs fois par seconde, n'a aucun rapport avec ce qui se passe dans son appareil, dont le tiroir reste ouvert en grand 40 ou 50 fois plus long-temps qu'il ne met à s'ouvrir ou à se fermer.

On répond qu'on ne conteste pas que la permanence du mouvement ne puisse s'établir sensiblement au bout d'un dixième de seconde ; mais pour prouver clairement qu'il en est effectivement ainsi, il conviendrait de faire usage des formules relatives au mouvement varié des fluides. A défaut d'intégrales exactes, on recourrait au procédé des quadratures. Du reste, lors même que la permanence du mouvement ne s'établirait qu'au bout d'un temps plus long, comme 2 ou 3 dixièmes de seconde, il n'y aurait pas un très grave inconvénient ; l'approximation que l'on obtiendrait ainsi serait de l'ordre de celles auxquelles s'arrêtent le plus souvent les ingénieurs.

M. GIRARD répond qu'il a montré dans son mémoire que pendant le dixième de seconde que le tiroir met à s'ouvrir, la vitesse de projection :

$V = \sqrt{2g H}$ se réduit à $V' = \sqrt{2g \frac{30}{31} H}$, avec une approximation suffisante en pratique.

On objecte de nouveau qu'avec une vitesse aussi considérable que celle qu'il faudrait développer, l'eau aurait peine à s'introduire dans les aubes.

M. GIRARD répond que les courbes de récepteurs mobiles sont disposées de façon à toujours admettre l'eau, ainsi que le démontrent surabondamment les expériences citées dans le mémoire ; qu'en effet la condition d'introduction de l'eau dans un récepteur ne dépend que du rapport établi entre la vitesse de la veine et celle de l'aube, mais nullement des valeurs absolues de ces vitesses.

UN MEMBRE croit que les plus graves inconvénients de ce système consistent dans l'entretien des soupapes et du mécanisme.

L'eau serait un obstacle à la marche en hiver, et son accumulation, inévitable en certains points de la voie, la détremperait infailliblement.

M. GIRARD fait observer qu'il a répondu tout à l'heure à l'objection relative au versement de l'eau sur la voie ; il se réfère à son mémoire en ce qui touche l'entretien des machines.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1852.

Présidence de M. E. Flachat.

M. Ch. Callon lit la traduction faite par M. Trélat, membre de la Société, d'un compte-rendu de la séance du 23 novembre dernier de la Société des Ingénieurs civils de Londres, dans laquelle il a été lu un mémoire de M. Robert Rawlinson sur le drainage des villes.

L'auteur rappelle que le drainage des villes est une question trop importante pour qu'on puisse la traiter complétement dans un travail destiné à être lu en une soirée; il a donc restreint le cadre de ses observations à l'examen de quelques points qui devront soulever la discussion et faire naître les critiques sur l'ancien et le nouveau système.

Il a borné le côté historique à la constatation de ce fait, que, dans les ruines des plus anciennes villes aujourd'hui découvertes, on a rencontré des portions de drains, et que le *grand cloac* formait une des merveilles de l'ancienne Rome.

Au point de vue politique, l'importance du système des égouts est incontestable, car c'est en améliorant l'état sanitaire d'une population qu'on parvient à diminuer la misère, le paupérisme, le vice et le crime qui accablent chaque cité. L'accroissement de population, constaté par les recensements, démontre qu'il y a nécessité de prévoir l'extension de toutes les grandes villes. En 1841, la population de cent dix-sept districts, y compris les chefs-lieux, était de 6,612,958 âmes. En 1851, ce nombre était de 7,795,958 dans les mêmes localités, où des maladies nombreuses firent des ravages qui auraient pu être prévenus en grande partie par des précautions sanitaires opportunes.

Mais l'attention des ingénieurs civils doit naturellement se porter tout d'abord sur les avantages sociaux que peut produire le *drainage de la ville*, car c'est sous ce rapport que la discussion doit éclairer la pratique actuelle et les perfectionnements proposés.

L'auteur ne traite pas les questions relatives aux formes, aux dimensions, aux prix, etc., des grands et des petits égouts; il croit que ces points de détail doivent toujours être abandonnés aux lumières et à l'expérience de l'ingénieur; il fait, toutefois, remarquer que le système le meilleur est celui qui permet au plus bas prix l'établissement de la plus grande étendue d'égouts.

La position du débouché des conduites doit être déterminée par les conditions naturelles du terrain, et les dimensions qu'on adoptera seront déduites de la surface et du nombre de maisons qu'il faudra desservir.

L'expérience et la pratique peuvent seules intervenir dans le choix des

matériaux de construction ; cependant les tuyaux en poterie paraissent à l'auteur constituer les égouts et les drains les plus économiques et les plus parfaits.

Les égouts ne peuvent recevoir les grandes eaux d'inondation, fussent-elles restreintes à celles qui proviennent de la localité desservie ; ils ne peuvent pas non plus être encombrés par le drainage environnant ni se joindre aux cours d'eau de la contrée ; il faut qu'ils soient uniquement installés pour conduire les matières solides et liquides provenant des habitations ; et il vaudrait mieux, pour les habitants d'une ville, ne pas avoir d'égouts du tout, que d'en avoir dont les dimensions fussent telles, que les matières pussent s'y amonceler en dépôt. L'emploi des pompes peut être avantageusement adopté dans certaines circonstances, comme, par exemple, lorsque les égouts n'ont pas d'issue disponible, soit par suite de la disposition du sol, soit par l'effet des marées. On a considéré comme heureuse la disposition qui consiste à interrompre la continuité des égouts à mi-pente. On a prôné les égouts de faibles dimensions quand on emploie des pompes, et l'on a dit qu'ils devaient être capables de résister à la pression hydraulique qui peut se déclarer à l'intérieur dans le cas où l'eau y pénétrerait.

Le courant doit être constant dans les égouts, et l'on a émis l'opinion que ce résultat ne pouvait être atteint qu'en employant de petites conduites.

Une quantité extraordinaire d'eau tomba en juillet 1845 à Birmingham. Elle s'éleva presque à une hauteur de 2 pouces ($0^m.050$) en une demi-heure, soit 9 gallons 091 par yard carré (49,3 par mètre carré), ou 44,000 gallons 140 par acre. L'auteur considère cette pluie si forte comme un argument contre l'établissement de grands égouts, inférieurs au plan des caves, et qui, pour être efficaces, devraient être capables de débiter les eaux des plus gros orages.

L'eau de surface ne pouvant être enlevée par les égouts, pendant les grandes pluies, on doit ménager le débouché naturel de superficie pour aider à éconduire hors des rues des grandes villes les eaux qui y tombent en abondance.

On signale à ce propos, dans la question du drainage des villes, ce fait remarquable, qu'originairement les égouts des villes n'avaient pas été établis pour recevoir l'écoulement des maisons ou du sol. On cite, pour appuyer cette allégation, le manque de communication entre les maisons et les égouts dans quelques points de la capitale, cette lacune absolue dans la ville de Paris, et la loi prohibitive rapportée il y a quelque temps seulement à Liverpool.

Quant aux tuyaux en poterie, on regarde comme trop faible pour certains drains le diamètre de 3 pouces ($0^m.075$), et 30 pouces ($0^m.75$), excédant les dimensions que permet d'atteindre convenablement la nature de la matière constitutive de ces tuyaux.

Les tuyaux de 4 pouces de diamètre ($0^m.100$) doivent certainement être considérés comme présentant la moindre section qui puisse être appliquée aux drains des habitations, et ceux de 9 pouces ($0^m.225$) pour le service des rues ; mais, dans ce cas, il faut prendre garde que la pente ne descende pas au dessous de *un soixantième*. Du reste, on a pensé que, s'il ne faut pas trop généraliser l'avantage qu'on peut retirer de l'emploi des égouts en

tuyaux, ce système ne doit pas, d'un autre côté, être entièrement condamné à la suite des exagérations des personnes sans expérience qui en ont fait usage. L'auteur a confirmé ce dernier point, en rappelant le succès général qu'on a retiré à Manchester des tuyaux ovales.

Il s'occupe ensuite des diverses espèces de joints, et recommande de ne pas adopter des diamètres excédant 15 pouces ($0^{m}.375$) ; au delà de cette dimension, les ruptures sont fréquentes, parce que les deux surfaces de joints portent inégalement l'une sur l'autre. Les difficultés du moulage, du séchage et de la cuisson, croissent probablement comme le carré des diamètres, *et elles sont nombreuses* : si l'on fait de larges tuyaux trop minces, ils sont sujets à se casser après la pose, et si on leur a donné une grande force au moulage, ils s'aplatissent sous leur propre poids quand la terre est molle; ils se déforment en séchant ou se cuisent imparfaitement.

Les égouts en briques, formant voussoirs, et faites *ad hoc*, sont meilleurs et moins coûteux. Un égout de 3 pieds ($0^{m}.91$), construit de cette manière, est plus économique qu'un égout en poterie de 20 pouces ($6^{m}.50$). En outre, les capacités sont entre elles comme les carrés des diamètres, et il n'y a pas de raison pour que le conduit de briques ne soit pas aussi régulier à l'intérieur et aussi imperméable qu'une poterie quelconque.

Après avoir traité des branchements, des orifices, des regards et de la ventilation, l'auteur parle de l'emploi des conduites de fonte dans les mauvais sols, puis il résume ainsi son travail en établissant que :

Tous les égouts doivent être placés au dessous du plan des caves, et qu'ils doivent uniquement être affectés à leur destination spéciale. Les rivières et les cours d'eau naturels ne doivent participer en aucune façon à un système quelconque de drainage municipal, et, dans les localités submersibles, les conduites doivent pouvoir résister à une pression intérieure. Il faut garantir la libre évacuation des eaux aux débouchés, qui ne doivent être encombrés ni par un amoncellement de matières à l'intérieur, ni par le manque d'élévation des issues. Les petits drains doivent être ronds et les grands ovales ; les plus grands rayons doivent être employés, et les pentes augmentées dans les courbes. Tous les égouts et drains doivent être imperméables à l'eau, et leurs surfaces doivent être égales et unies. Dans les localités escarpées, il faut amoindrir ou interrompre la pente des grands égouts, et les matériaux dont on fait choix doivent être de nature à résister à l'usure et aux causes de rupture. Partout où cela est possible, le débouché doit être très facile, et, dans tous les cas, on doit y ménager une complète ventilation. On n'a rien à dire des fosses d'aisances, car une localité où l'on tolère leur existence ne peut être considérée comme réellement *drainée*; on doit, toutefois, faire une exception pour celles qui avoisinent les décharges où aboutissent les derniers égouts; elles peuvent servir à utiliser des matières propres à l'agriculture.

Le véritable but de l'égouttage des villes est d'enlever le plus rapidement possible du voisinage des habitations ou des différents quartiers des villes tous les résidus sujets à décomposition et qui peuvent être emportés par les eaux : un pareil but, complétement atteint, constituerait un bienfait qui mérite d'attirer l'attention de l'ingénieur.

Après cette lecture, un membre fait observer que cette question a un

haut intérêt en Angleterre ; que d'abord la question de l'entretien des égouts avait été très disputée aux ingénieurs civils anglais par les ingénieurs militaires, mais qu'enfin les premiers l'avaient emporté par leurs connaissances spéciales des besoins de l'industrie ; qu'également les deux dernières épidémies du choléra avaient causé tant de désastres en Angleterre, qu'on avait senti le besoin de s'occuper spécialement de la question des égouts.

Il est à regretter qu'à Paris on n'ait pas suivi l'impulsion donnée en Angleterre.

Il y a deux systèmes d'égouts, les égouts français et les égouts anglais. Les premiers n'enlèvent que les eaux superficielles; les égouts anglais enlèvent toutes les eaux de ménage, fosses d'aisances, etc., mais pour cela il faut beaucoup d'eau. Là où il n'y a pas d'égouts, les fosses sont à puisards, mais ces puisards sont souvent insuffisants, et, dès lors, ils sont une cause d'émanations méphitiques : aussi les supprime-t-on, et les remplace-t-on par ce nouveau système de drainage fait avec des tuyaux de terre. Ces tuyaux, fabriqués à de grandes pressions, supportent deux à trois atmosphères.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Trélat de sa communication et le prie de vouloir bien continuer sa traduction du mémoire de M. Robert Rawlinson et de la discussion à laquelle il aura donné lieu.

Il est ensuite procédé à la révision des statuts de la Société.

M. POLONCEAU, président de la commission de révision, a la parole.

L'article 4 ancien portait :

« Les membres de la Société, dont le nombre est illimité, se divisent en membres sociétaires, et membres associés; le nombre des membres associés ne devra jamais excéder le cinquième de celui des membres sociétaires. »

La Commission propose de le modifier ainsi :

« Les membres de la Société, dont le nombre est illimité, se divisent en membres sociétaires, membres associés et *membres honoraires*. Le nombre des membres associés et des membres *honoraires* ne devra jamais excéder le cinquième de celui des membres sociétaires. »

M. LOVE demande que le nombre des membres associés et des membres honoraires ne puisse jamais excéder le nombre des membres sociétaires, et que dès lors il soit fixé égal à une fraction de celui-ci.

M. YVON VILLARCEAU demande que les statuts précisent la position des membres honoraires.

M. LE PRÉSIDENT lit l'article qui leur est applicable.

« Toute personne s'occupant spécialement de l'étude des sciences qui se rapportent à l'art de l'ingénieur, tout industriel, peut être admis dans la Société à titre de membre associé ou de *membre honoraire*.

» Les demandes d'admission pour être membre sociétaire ou associé sont faites dans la forme prescrite au règlement et soumises à l'approbation de la Société. »

M. POLONCEAU ajoute que la rédaction ne peut pas dire qu'on offrira le titre de membre honoraire, car ce serait une prétention peu convenable ; la rédaction de la Commission n'exclut personne, et satisfait en laissant toute latitude au Comité.

Pour être admis membre honoraire, il faut être présenté par le Comité. La Société décide ensuite au scrutin secret; et, pour être reçu, il faut avoir obtenu les trois quarts des suffrages des membres présents. Les membres honoraires ne pourront pas prendre part aux votes.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'art. 4 modifié par la Commission. Cet article est adopté.

La Commission propose d'ajouter à la suite de l'art. 12 ce paragraphe :

« La Société n'est pas responsable des opinions de chacun de ses membres, même dans la publication de ses bulletins. »

Cet article sera reproduit en tête de chacune de ses publications.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que la rédaction de cet article est semblable à celle de la Société des Ingénieurs civils anglais; il a l'avantage de donner aux discussions une liberté que sans cela elles n'auraient pas.

M. CALLON demande que les noms des personnes qui prennent la parole dans les discussions soient inscrits dans les comptes-rendus; que cela aura le précieux avantage de les rendre plus intelligibles.

M. POLONCEAU fait remarquer que la publication de ces comptes-rendus dans les journaux empêche de donner aux opinions émises quelquefois sans connaissance parfaite du sujet la responsabilité de leur auteur.

M. EUG. FLACHAT pense également que la désignation des personnes aurait le grave inconvénient de faire cesser toute discussion. C'est, au reste, ce qui est arrivé à l'origine de la publication des bulletins, où les noms des membres étaient inscrits; qu'au reste, tout membre a le droit de faire inscrire son nom sur les observations qu'il adresse; qu'ainsi tout est réservé.

La rédaction de la Commission est mise aux voix et adoptée.

La Commission propose d'ajouter à l'art. 15 : *Un censeur* qui sera élu.

M. ALCAN ne croit pas que la création de cette fonction soit nécessaire; que dans plusieurs Sociétés elle existe sans qu'on s'aperçoive jamais qu'elle agisse.

M. POLONCEAU répond que cette fonction est inscrite dans les statuts, qu'il faut par conséquent l'établir. La modification que la Commission propose n'a pas d'autre but.

M. EUG. FLACHAT repousse la partie de la rédaction de la Commission qui donne au censeur des attributions au dessus de celles du président.

La première partie de la rédaction de la Commission est mise aux voix et adoptée.

La deuxième est repoussée.

L'art. 21 des statuts porte : « Les membres du comité et du bureau sont rééligibles, mais la présidence ne peut être confiée au même sociétaire *pendant deux années consécutives.* »

La Commission propose de remplacer les quatre derniers mots par ceux-ci : *pendant trois années consécutives.*

M. EUG. FLACHAT demande le maintien des statuts; il combat la rédaction de la Commission.

M. POLONCEAU dit que la Commission a pensé que la présidence pouvait ne pas être bien comprise par un titulaire pendant une première année, et que, si ce titulaire avait donné des preuves suffisantes de soins et de bon vouloir, la Société reconnaissante pouvait lui continuer une année encore

ses pouvoirs, afin qu'il pût mettre à profit sa première année d'expérience.

M. CALLON repousse aussi la rédaction de la Commission; il propose ce qui se fait à l'Académie des sciences, où le vice-président est de droit président l'année suivante.

M. LE PRÉSIDENT résume les trois propositions :

1° La rédaction actuelle des statuts;

2° La rédaction nouvelle proposée par la Commission;

3° La proposition de M. Callon.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix pour savoir si l'on commencera à voter d'abord sur les amendements et ensuite sur le maintien de l'article actuel; il est décidé qu'on votera d'abord sur les amendements. Celui de la Commission est mis aux voix et repoussé.

M. CALLON retirant sa proposition, il est voté sur le maintien de l'article actuel, qui est adopté.

La Commission propose d'ajouter, après l'article 21, un article ainsi conçu :

« Art. 22. La Société pourra décerner le titre de président honoraire à un de ses présidents, sur la proposition qui lui en sera faite par le comité. »

Cet article est mis aux voix et adopté.

La Commission propose également d'ajouter à la suite de l'art. 24 : « Les membres honoraires sont exempts de toute cotisation. »

Cette proposition est également adoptée.

SÉANCE DU 27 DÉCEMBRE 1852.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Présidence de M. E. FLACHAT.

L'ordre du jour appelle l'exposé du trésorier sur la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU, trésorier, constate que le nombre des Sociétaires, qui était au 26 décembre 1851 de. 242
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de. 34

Ce qui porte ce nombre, au 17 décembre 1852, à. 276
Démissionnaire. 1

Reste. 275

Les versements effectués pendant l'année 1852 se sont élevés à . . . . 9,516 fr. 05 c.
Il reste à recouvrer en cotisations ou amendes. . . 2,254 35

Formant le total de ce qui était dû à la Société. . . 11,770 40

Au 1er janvier 1852 le solde en caisse était de. . .	1,640 fr.	75
Les versements pendant l'année 1852 se sont élevés à.	9,516	05
Total.	11,156	80
Les dépenses de l'année 1852 se sont élevées à . .	10,143	90
Solde en caisse au 17 décembre 1852.	1,012	90 c.

Le trésorier ajoute que l'état de la caisse permet de satisfaire aux dépenses courantes, et que cette bonne situation est due aux souscriptions volontaires, qui ont produit en 1851. . . . . . 1,225 fr. »

Et en 1852	2,621	»
Total.	3,846	»

En se félicitant de l'empressement avec lequel un grand nombre de membres ont répondu à l'appel qui a été fait à ce sujet, le trésorier regrette que tant d'autres n'aient pas encore effectué leurs versements réguliers, sur lesquels il reste encore dû une somme de 2,254 fr. 35 c. par environ 70 membres.

Il termine en constatant que le nombre des membres admis, qui n'avait été que de 14 en 1851, a été de 34 cette année.

Le président fait remarquer la bonne situation financière de la Société; il espère que, si de nouvelles cotisations volontaires étaient encore nécessaires, elles seraient faciles à trouver.

Il met aux voix l'approbation des comptes. Cette approbation est adoptée.

Le président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections.

Sur la proposition de M. Eugène Flachat, l'assemblée décerne à l'unanimité et par acclamation la présidence honoraire à M. A. Perdonnet.

Les élections ont donné le résultat suivant :

Bureau.

Président : M. J. Petiet ✻✻.

Vice-présidents : MM. Vuigner (Emile) O ✻,
— Callon (Charles),
— Flachat (Eugène) ✻✻,
— Polonceau (C.) ✻.

Secrétaires : MM. Bellier (Adolphe),
— Mathieu (Henry),
— Lorentz (E.),
— Yvert (Léon),

Trésorier : Loustau (Gustave).

Comité.

MM. Yvon-Villarceau,
Degousée,
Faure,
Houel ✻,
Nozo (Alf.),
Séguin (Paul),
Thomas (Léonce) ✻,
Calla ✻,
Chobrzinsky,
Bois (Victor),

MM. Salvetat,
Barrault (Alexis),
Alcan (M.),
Cavé ✻,
Bergeron,
Mony (Stéphane) ✻,
Knab,
La Salle,
Pépin-Lehalleur ✻,
Évrard.

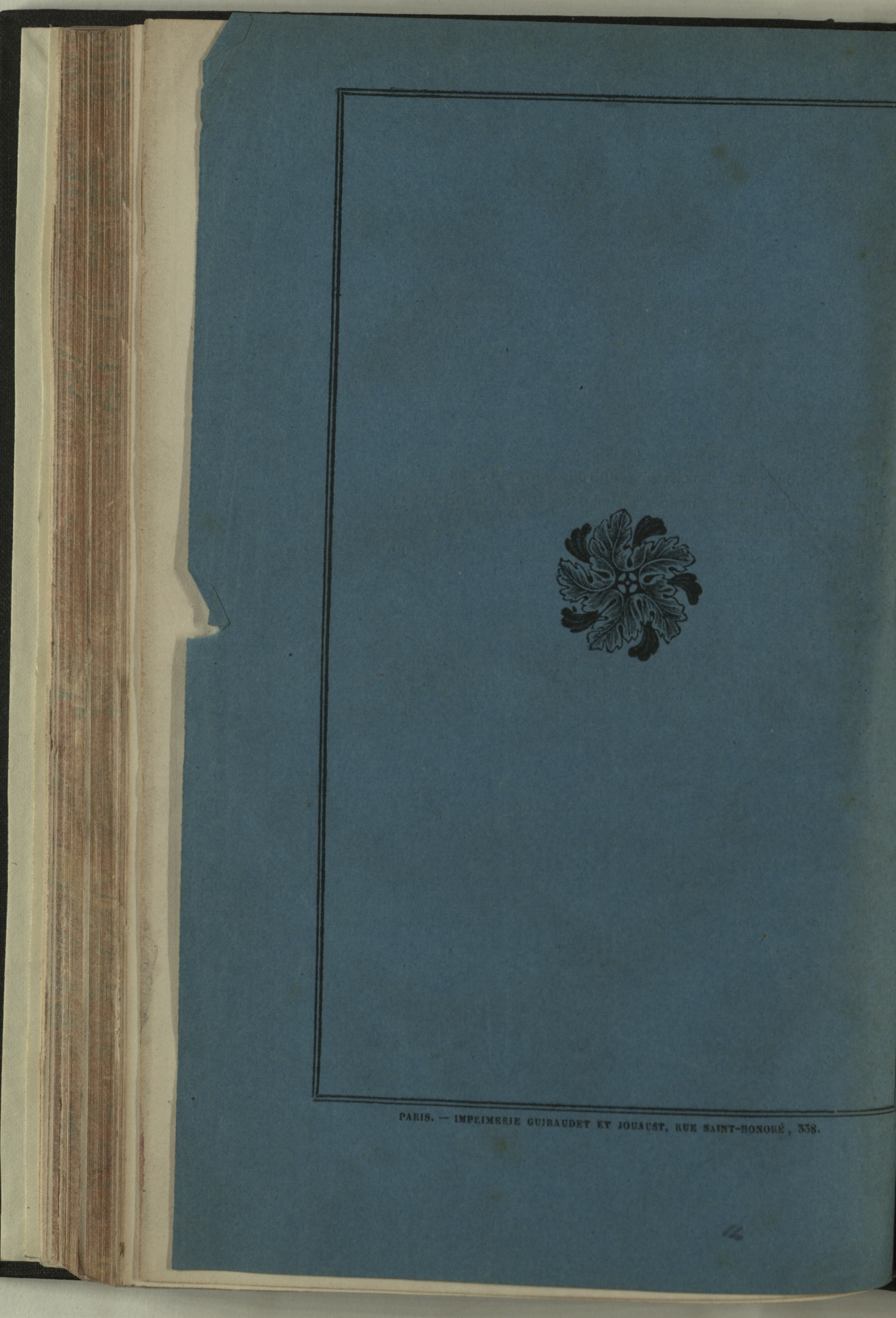
TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

La Société s'est réservé un certain nombre d'exemplaires de comptes-rendus pour les échanger contre les divers recueils périodiques scientifiques, techniques et industriels, qui paraissent en France et à l'étranger.

Les demandes d'échange doivent être adressées (franco) au Président de la Société, 26, rue Buffault, à Paris.

— La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des notes ou mémoires publiés dans le Bulletin.



PARIS. — IMPRIMERIE GUIRAUDET ET JOUAUST, RUE SAINT-HONORÉ, 338.